

การศึกษากระบวนการชุบนิเกิลและทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า  
ลงบน อะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน(เอบีเอส)  
THE STUDY OF Ni AND Cu ELECTROLESS PLATING ON  
ACRYLONITRILE-BUTADIENE-STYRENE (ABS) SUBSTRATE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษากระบวนการชุบนิเกิลและทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า  
ลงบน อะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน(เอบีเอส)  
THE STUDY OF Ni AND Cu ELECTROLESS PLATING ON  
ACRYLONITRILE-BUTADIENE-STYRENE (ABS) SUBSTRATE



T147907



ชูศักดิ์ ชาวโรจน์  
มาลินี ประสงค์

เลขหมู่..... 147907  
เลขทะเบียน.....  
วันเดือนปี..... 16 ต.ค. 2560

b. 12862241  
i. ....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The study of Ni and Cu electroless plating on  
acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) substrate



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING  
IN MANUFACTURING SYSTEM ENGINEERING  
COLLEGE OF ADVANCED MANUFACTURING INNOVATION  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การศึกษากระบวนการชุบนิเกิลและทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าลงบน อะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (เอบีเอส)

The study of Ni and Cu electroless plating on acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) substrate

ชื่อนักศึกษา

นายชูศักดิ์ เชาวโรจน์ 56120010

นางสาวมาลินี ประสงค์ 56120027

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมระบบการผลิต


ปีการศึกษา

2559

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ราชศักดิ์ ศักदानุภาพ

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ประจำปี การศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ว่าที่ ร.ต.ดร.กมล วสะภิญโญกุล ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.วิไลลักษณ์ ศิริวงศ์รังสรร กรรมการ	
ผศ.ดร.ราชศักดิ์ ศักदानุภาพ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของวิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีสืบค้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษากระบวนการชุบนิกเกิลและทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าลงบน อะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (เอบีเอส)
ชื่อนักศึกษา	นายชูศักดิ์ เชาวโรจน์ 56120010 นางสาวมาลินี ประสงค์ 56120027
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมระบบการผลิต
คณะ	วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.)
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ราชศักดิ์ ศักดานุภาพ

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการชุบนิกเกิลและทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าลงบนแผ่นรองรับอะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (เอบีเอส) โดยมีขั้นตอนที่สำคัญ ได้แก่ ขั้นตอนแรกคือ การกัดผิวพลาสติกเอบีเอสโดยใช้ กรดโครมิก กรดซัลฟิวริก และกรดไฮโดรคลอริก ขั้นตอนที่สองคือ การกระตุ้นผิวพลาสติกเอบีเอสด้วย ทิน(II)คลอไรด์ และซิลเวอร์ไนเตรท ขั้นตอนสุดท้ายคือ การชุบโลหะทองแดงและนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของสารชุบทองแดงที่เหมาะสมมีองค์ประกอบของคอปเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 8 กรัมต่อลิตร โพแทสเซียมโซเดียมทาร์ทเรตความเข้มข้น 35 กรัมต่อลิตร โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร และฟอร์มัลดีไฮด์ความเข้มข้น 40 มิลลิลิตรต่อลิตร ค่าปริมาณความเข้มข้นและเวลาที่ใช้ในการชุบมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาและคุณภาพของฟิล์มที่เตรียมได้โดยอาศัยการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดเพื่อดูลักษณะพื้นผิว และวิเคราะห์สภาพการยึดติดด้วยวิธี Cross-Cut Test ตามมาตรฐาน ASTM D3359 ผลการทดสอบพบว่าฟิล์มมีค่าสภาพการยึดติดที่ดีระหว่างชั้นฟิล์มและพื้นผิวพลาสติกเอบีเอส

คำสำคัญ : การชุบแบบไม่ใช้ไฟฟ้า, คอปเปอร์, นิกเกิล, อะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (เอบีเอส)

Title	THE STUDY OF Ni AND Cu ELECTROLESS PLATING ON ACRYLONITRILE-BUTADIENE-STYRENE (ABS) SUBSTRATE
Students	Mr. Chusak Chaowarot 56120010 Miss Malinee Prasong 56120027
Degree	Bachelor of Engineering
Department	Manufacturing System Engineering
Faculty	College of Advanced Manufacturing Innovation (AMI)
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2016
Advisor	Asst. Prof. Dr. Rachsak Sakdanuphab

### Abstract

In this work, we studied the nickel (Ni) and copper (Cu) electroplating processes on acrylonitrile-butadiene-styrene substrate. The electroplating process consists of several steps; etching step on ABS surface using  $\text{CrO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  and  $\text{HCl}$ , following with activating step using  $\text{SnCl}_2$  and  $\text{AgNO}_3$ , and finally with Cu and Ni electroless plating step. The experimental results show the suitable Cu plating solution of  $\text{CuSO}_4$  (8 g/l),  $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (35 g/l), and  $\text{NaOH}$  (10g/l). The Cu concentration and plating time affect to the chemical reaction rate and film quality. Scanning electron microscope and adhesion test (Cross-Cut Test under the standard ASTM D3359) were used to analyze the film surface and adhesion property. The results shows that the Cu and Ni films show good adhesion on ABS substrate.

**Keywords :** Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS), Copper, Electroless Plating, Nickel

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ผศ.ดร.ราชศักดิ์ ศักดานุภาพ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำปรึกษา เสนอแนะแนวคิด ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่งจนงานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริง และความทุ่มเทของอาจารย์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ บริษัท ไทยสตีลเคเบิล จำกัด (มหาชน) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ให้ตัวอย่างชิ้นงาน เพื่อมาทำการทดลองในโครงการนี้

และสุดท้ายใคร่ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ รวมทั้งคอยเป็นกำลังใจเสมอมา

ทั้งนี้คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการที่จัดทำขึ้นมานี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ และใคร่ศึกษาเพื่อนำไปพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น



ชูศักดิ์ เชาวโรจน์  
มาลินี ประสงค์

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 การชุบเคลือบผิวฉนวนกึ่งนำไฟฟ้า.....	4
2.2 กลไกการชุบเคลือบผิวฉนวนกึ่งนำไฟฟ้า.....	7
2.3 การกัดกร่อน.....	9
2.4 Acrylonitrile butadiene styrene (ABS).....	13
2.5 การทดสอบสภาพการยึดติด.....	15
2.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	19
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>24</b>
3.1 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ.....	24
3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ สำหรับการชุบและการวิเคราะห์ชั้นฟิล์ม.....	27
3.3 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	30
3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติของชั้นฟิล์ม.....	34
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....</b>	<b>36</b>
4.1 ผลการวิเคราะห์สภาพการยึดติดด้วยวิธี Cross cut test.....	36
4.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	42

## สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	45
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	45
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	46
เอกสารอ้างอิง.....		47
ประวัติผู้เขียน		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวรีดิวซ์สำหรับการชุบเคลือบผิวนิกเกิลแบบไม่ใช่ไฟฟ้า .....	5
2.2 ตัวก่อไอออนเชิงซ้อน .....	6
2.3 Adhesion scale ของมาตรฐาน ASTM D3359 .....	17
3.1 แสดงเงื่อนไขสำหรับการชุบ Cu.....	33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของผิวเคลือบและเวลาที่ใช้ในการชุบ.....	4
2.2 มอนอเมอร์ที่ใช้ในการผลิต ABS.....	14
2.3 ลักษณะการกรีดด้วย cross cut guide.....	16
2.4 ลักษณะของการตีเทปมาตรฐานบนรอยกรีด.....	16
2.5 ลักษณะของการตีเทปมาตรฐานจากผิวเคลือบ.....	16
2.6 เครื่องทดสอบสภาพการยึดติด Pull-of test.....	18
2.7 ส่วนประกอบของเครื่อง SEM.....	19
2.8 ระดับพลังงานของอิเล็กตรอน.....	20
3.1 อะซีโตน.....	24
3.2 สารเคมีสำหรับการ Etching.....	25
3.3 สารเคมีสำหรับกระตุ้นผิว.....	25
3.4 สารเคมีสำหรับชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า.....	26
3.5 น้ำยาชุบนิเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า.....	26
3.6 พลาสติกเอปียีส.....	27
3.7 water bath.....	27
3.8 (ก) แท่งแก้วคนสาร.....	28
3.8 (ข) ปีกเกอร์.....	28
3.9 (ก) ลวดสำหรับจับชิ้นงาน.....	28
3.9 (ข) ตะขอสำหรับการยึดชิ้น.....	28
3.10 เครื่องชั่งสารเคมี.....	29
3.11 เครื่อง SEM.....	29
3.12 ชุดทดสอบสภาพการยึดติด Cross Cut Test.....	30
3.13 ชิ้นงานต้นแบบสำหรับการทดลอง.....	30
3.14 การเจาะพลาสติกเอปียีส.....	31
3.15 การประกอบชิ้นงานเข้ากับตะขอ.....	31
3.16 การเตรียมผิวพลาสติกเอปียีสด้วยอะซีโตน.....	32
3.17 ลักษณะพื้นผิวพลาสติกเอปียีสหลังจากการกัดด้วยอะซีโตน.....	32
3.18 ลักษณะผิวชิ้นงานหลังจากการกรีดด้วยคัตเตอร์.....	34

3.19 ลักษณะของการติดเทปมาตรฐานบนรอยกรีด.....	34
3.20 ชิ้นงานที่ใช้วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวจาก SEM .....	35
4.1 ชิ้นงาน A ชุบด้วยโลหะทองแดง 5 นาที.....	37
4.2 ชิ้นงาน A ชุบด้วยโลหะนิกเกิล 20 นาทีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	38
4.3 พื้นผิวชิ้นงาน A หลังจากการทดสอบ Cross Cut Test .....	38
4.4 ชิ้นงาน B ชุบด้วยโลหะทองแดง 5 นาที.....	38
4.5 ชิ้นงาน B ชุบด้วยโลหะนิกเกิล 30 นาทีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	39
4.6 พื้นผิวชิ้นงาน B หลังจากการทดสอบ Cross Cut Test .....	39
4.7 ชิ้นงาน C ชุบด้วยโลหะทองแดง 5 นาที.....	39
4.8 ชิ้นงาน C ชุบด้วยโลหะนิกเกิล 40 นาทีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส .....	40
4.9 พื้นผิวชิ้นงาน C หลังจากการทดสอบ Cross Cut Test .....	40
4.10 พื้นผิวชิ้นงาน A ที่มีความชื้นหลังจากผ่านไป 7 วัน .....	41
4.11 พื้นผิวชิ้นงาน B ที่มีความชื้นหลังจากผ่านไป 7 วัน .....	41
4.12 พื้นผิวชิ้นงาน C ที่มีความชื้นหลังจากผ่านไป 7 วัน.....	41
4.13 ภาพจาก SEM แสดงผิวเคลือบนิกเกิลของชิ้นงาน A .....	43
4.14 ภาพจาก SEM แสดงผิวเคลือบนิกเกิลของชิ้นงาน B.....	43
4.15 ภาพจาก SEM แสดงผิวเคลือบนิกเกิลของชิ้นงาน C.....	44

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ธุรกิจอุตสาหกรรมยานยนต์ในปัจจุบันมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วประกอบกับสภาวะการแข่งขันทางการตลาดมีความรุนแรงมากขึ้น ดังนั้นเป้าหมายที่สำคัญสำหรับการผลิตก็คือมุ่งสร้างความสามารถในการแข่งขันด้วยการพัฒนาทางด้านเทคนิค เพื่อลดต้นทุนและเวลาในการผลิต ในส่วนของอุตสาหกรรมการผลิตสายเคเบิลในรถยนต์ที่เป็นชิ้นงานต้นแบบ กระบวนการผลิตจะต้องใช้แม่พิมพ์ในการขึ้นรูปชิ้นงานสำหรับบางชิ้นส่วน โดยปัญหาที่พบคือระยะเวลาที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปแม่พิมพ์นั้นค่อนข้างนาน ประกอบกับที่บริษัท ไทยสตีลเคเบิล จำกัด (มหาชน) มีเครื่องขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ (3D Printing) จึงได้มีแนวคิดที่จะทำแม่พิมพ์จากพลาสติกเอบีเอสแทนแม่พิมพ์แบบเดิม เพื่อลดต้นทุนและระยะเวลาในการผลิต

งานวิจัยนี้จึงได้นำเอาเทคโนโลยีการชุบเคลือบผิวมาชุบเคลือบพลาสติกเอบีเอส เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของพลาสติกเอบีเอสให้มีความแข็งแรง และสามารถต้านทานการกัดกร่อนของสารละลายได้ ซึ่งการชุบเคลือบผิวนี้สามารถนำไปใช้กับโลหะได้หลายชนิด เช่น เหล็ก สังกะสี ทองแดง และนิกเกิล เป็นต้น ขึ้นกับว่าต้องการศึกษาหรือปรับปรุงคุณสมบัติใด ซึ่งการชุบด้วยโลหะนิกเกิลและทองแดง ก็เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมนำมาชุบเคลือบผิวเพื่อป้องกันการกัดกร่อน และการสึกหรอของวัสดุได้เป็นอย่างดี สำหรับเทคนิคที่ใช้ในการชุบเคลือบผิวนั้นสามารถเลือกชุบได้ทั้งแบบใช้ไฟฟ้าและแบบไม่ใช้ไฟฟ้า ซึ่งจะให้คุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการชุบเคลือบผิวพลาสติกเอบีเอสด้วยโลหะนิกเกิลและทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า เนื่องจากผิวเคลือบนิกเกิลและทองแดงมีคุณสมบัติที่โดดเด่นทางด้านความต้านทานการกัดกร่อนและมีความต้านทานการสึกหรอและการขีดสีที่ดีเยี่ยม

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการชุบแบบไม่ใช้ไฟฟ้าของโลหะนิกเกิลและทองแดง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์มจากการชุบโลหะนิกเกิลและทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า
- 1.2.3 เพื่อศึกษาสภาพการยึดติดของการชุบโลหะนิกเกิลและทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษางานวิจัยนี้ทำการศึกษาวีธีการชุบเคลือบผิวพลาสติกเอปียเอสด้วยนิกเกิลและทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า ซึ่งคุณสมบัติที่ทำการศึกษามีดังนี้

- 1.3.1 ศึกษาลักษณะพื้นผิวของชั้นฟิล์มด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)
- 1.3.2 ทดสอบสภาพการยึดติดด้วยวิธี cross-cut test

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 มีความรู้ความเข้าใจในด้านการชุบเคลือบผิวแบบไม่ใช้ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น
- 1.4.2 สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติของชิ้นงานที่ได้จากการชุบแบบไม่ใช้ไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องซึ่งคุณสมบัติที่ทำการวิเคราะห์มีดังนี้
  1. ลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานที่ได้
  2. สภาพการยึดติดของชิ้นงาน
- 1.4.3 นำความรู้ที่ศึกษาในระดับปริญญาตรีมาช่วยในการทำงานวิจัยนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.4.4 สามารถลดต้นทุนและระยะเวลาในการผลิตสายเคเบิลในรถยนต์ที่เป็นชิ้นงานต้นแบบได้

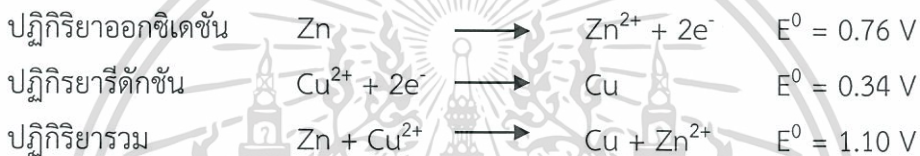
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

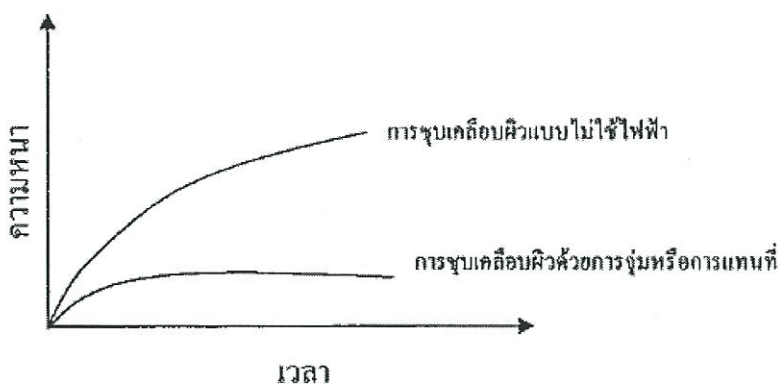
การชุบเคลือบผิวโลหะด้วยกระบวนการทางเคมีโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายนั้น การเคลือบผิวที่เกิดขึ้นจะเป็นกลไกทางไฟฟ้าเคมีหรือเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างอนุมูลทางเคมีของสาร โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้นจะเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดอิเล็กตรอนขึ้นภายในระบบ แต่ปฏิกิริยารีดักชันจะเป็นปฏิกิริยาที่มีการใช้อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น

โดยทั่วไปรูปแบบที่ง่ายที่สุดของการเคลือบผิวด้วยวิธีการทางเคมี คือ การเคลือบผิวโดยการแทนที่โลหะ เช่น เมื่อนำโลหะสังกะสีมาจุ่มในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต อะตอมของโลหะสังกะสีจะละลายออกและถูกแทนที่ด้วยอะตอมของทองแดงจากสารละลายซึ่งมีปฏิกิริยาดังนี้



เมื่อปฏิกิริยาการแทนที่ของโลหะเริ่มต้นขึ้น ที่บริเวณผิวหน้าของสังกะสีจะถูกปกคลุมด้วยทองแดง และกระบวนการแทนที่ของโลหะจะหยุดลงเมื่อผิวหน้าสังกะสีถูกปกคลุมด้วยทองแดงทั้งหมด ซึ่งจะส่งผลให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือการละลายของสังกะสีหยุดลง ดังนั้นการชุบเคลือบผิวโดยอาศัยปฏิกิริยาแทนที่จึงให้ผิวเคลือบมีความหนาจำกัดเพียง 1-3 ไมโครเมตรเท่านั้น

เนื่องจากการชุบเคลือบผิวด้วยปฏิกิริยาการแทนที่มีขีดจำกัดในเรื่องของความหนาของผิวเคลือบ ดังนั้นกระบวนการเคลือบผิวที่มีความต่อเนื่องและไม่ทำละลายผิวรองรับจึงถูกพัฒนาขึ้นมาแทนที่การเคลือบผิวด้วยการแทนที่ ซึ่งในกระบวนการเคลือบผิวนี้นี้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันภายในสารละลายจะมีบทบาทสำคัญ แทนที่จะอาศัยการละลายของผิวรองรับหรือชิ้นงาน เมื่อปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องภายในสารละลายส่งผลให้กระบวนการเคลือบผิวเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่องด้วย ทำให้ผิวเคลือบที่ได้มีความหนาเพิ่มขึ้น กระบวนการชุบผิวแบบไม่ใช้ไฟฟ้าถูกนำมาใช้โดย Brenner และ Riddell โดยนักวิจัยทั้งสองได้ศึกษาการชุบผิวโลหะนิกเกิลและโคบอลต์โดยไม่จ่ายกระแสไฟฟ้าจากภายนอกให้แก่ระบบเลย พบว่าปฏิกิริยารีดักชันในกระบวนการชุบเคลือบผิวแบบไม่ใช้ไฟฟ้าจะเกิดเฉพาะผิวที่ถูกกระตุ้นเท่านั้น และการเคลือบผิวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเนื่องจากเกิดการกระตุ้นของผิวเคลือบเองในระหว่างกระบวนการเคลือบผิว ทำให้ได้ผิวเคลือบที่มีความหนาเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ชุบเคลือบผิวแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของผิวเคลือบและเวลาที่ใช้ในการชุบ<sup>[11]</sup>

ปัจจุบันการชุบเคลือบผิวแบบไม่ใช้ไฟฟ้าได้ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางเนื่องจากมีกำลังการชุบเคลือบผิวสูง ผิวเคลือบที่ได้มีรูพรุนน้อย และความหนาของผิวเคลือบมีความสม่ำเสมอตลอดชิ้นงานทำให้ผิวเคลือบมีคุณสมบัติต่างๆ ที่ดีขึ้น

การชุบเคลือบผิวบนผิวพลาสติกนั้นมีการบวนการที่สำคัญ 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 คือ การเตรียมผิวเพื่อให้วัสดุที่ต้องการชุบ active เป็นการกระตุ้นผิวให้มีคุณสมบัติรับไฟฟ้าได้ก่อน ซึ่งต้องใช้ น้ำยาและเทคโนโลยีที่ค่อนข้างซับซ้อน และในขั้นตอนนี้จะมีความสำคัญมากเพราะหากเตรียมผิวไม่ดีเมื่อทำการชุบแล้วอาจจะพองหรือสีต่าง ช่วงที่ 2 คือ การชุบซึ่งมีข้อจำกัดในเรื่องเวลาและผิวชิ้นงาน โดยในกระบวนการนี้สารเคมีที่ใช้ในการชุบจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับว่าต้องการชุบอะไร แต่เงื่อนไขสำหรับการชุบจะมีความใกล้เคียงกัน ซึ่งจะยกตัวอย่างของการชุบนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้ามานำเสนอให้เห็นดังต่อไปนี้

## 2.1 การชุบเคลือบผวนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า

การชุบเคลือบผวนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้าอาศัยการเกิดกระบวนการปฏิกิริยารีดักชันที่ขึ้นอยู่กับกระบวนการกระตุ้นปฏิกิริยารีดักชันของไอออนนิกเกิลในสารละลายหรือน้ำยาชุบที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย และมีตัวรีดิวซ์ที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันดังสมการที่ (1)



การเคลือบผิวจะเกิดขึ้นบนชิ้นงานที่สามารถกระตุ้นตัวเองได้ เช่น นิกเกิลและเหล็กกล้าคาร์บอน เป็นต้น หรือชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเตรียมชุบผิวโดยการชุบกับโลหะที่สามารถกระตุ้นตัวเองได้ เช่น พลาตาเดียม เป็นต้น โดยไอออนของโลหะนิกเกิลที่อยู่ในสารละลายจะเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้ากับอิเล็กตรอนจากตัวรีดิวซ์เกิดเป็นโลหะนิกเกิลเข้าเคลือบที่ผิวชิ้นงาน ดังแสดงสมการที่ (2)



การเคลือบผิว निकิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้าเป็นกระบวนการที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบันนี้ เนื่องจากผิวเคลือบที่เตรียมได้มีลักษณะที่ดีหลายประการ เช่น ผิวเคลือบมีความสม่ำเสมอแม้ชิ้นงานจะมีรูปร่างซับซ้อน ผิวเคลือบที่เตรียมได้มีรูพรุนน้อยและป้องกันการกัดกร่อนได้ดี ผิวเคลือบมีความลื่นและเรียบ ผิวเคลือบมีคุณสมบัติการเปียกน้ำที่ดี ผิวเคลือบที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบต่ำจะมีความสามารถในการบัดกรีสูง และผิวเคลือบมีความแข็งสูง เป็นต้น คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของผิวเคลือบ निकิลเหล่านี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของผิวเคลือบ โดยที่ผิวเคลือบที่เตรียมได้จะมีองค์ประกอบอย่างไรนั้นขึ้นอยู่กับสูตรน้ำยาชุบและเงื่อนไขที่เลือกใช้ โดยทั่วไป องค์ประกอบของน้ำยาชุบเคลือบผิว निकิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้ามักจะประกอบด้วยแหล่งของไอออน निकิล ตัวรีดิวซ์ สารประกอบเชิงซ้อน และสารเพิ่มความเสถียร เป็นต้น

### 2.1.1 แหล่งโลหะ निकิล (Nickel Source)

โดยทั่วไปแหล่งของไอออน निकิลมักจะเป็นเกลืออนินทรีย์ของโลหะ निकิล เช่น นิกเกิลซัลเฟต ( $\text{NiSO}_4$ ) อย่างไรก็ตามบางระบบอาจจะมีการใช้ นิกเกิลคลอไรด์ ( $\text{NiCl}_2$ ) และนิกเกิลอะซิเตต ( $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ) บ้างแต่ก็ไม่มากนักเนื่องจากไอออนของคลอไรด์จะทำให้น้ำยาชุบเสื่อมสภาพได้ง่ายขึ้น และยังมีผลต่อการกัดกร่อนของผิวเคลือบที่เตรียมได้อีกด้วย

### 2.1.2 ตัวรีดิวซ์ (Reducing Agent)

ตัวรีดิวซ์ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดของอิเล็กตรอนที่จะใช้ในกระบวนการชุบเคลือบผิว ซึ่งที่นิยมใช้ในกระบวนการชุบเคลือบผิว निकิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้าเมื่อใช้น้ำเป็นตัวทำละลายประกอบด้วย โซเดียมไฮโปฟอสไฟท์โมโนไฮเดรต ( $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ( $\text{NaBH}_4$ ) ไดเมทิลเอมีนโบเรน ( $(\text{CH}_3)_2\text{NHBH}_3$ ) และไฮดราซีน ( $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) โดยรายละเอียดของตัวรีดิวซ์ทั้ง 4 ชนิดแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวรีดิวซ์สำหรับการชุบเคลือบผิว निकิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า<sup>[11]</sup>

ตัวรีดิวซ์	น้ำหนักโมเลกุล (กรัม/โมล)	น้ำหนักสมมูล	ช่วง pH	ศักย์ไฟฟ้า (V)
$\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	106	53	4-6 7-10	0.499 1.57
$\text{NaBH}_4$	38	4.75	12-14	1.24
$(\text{CH}_3)_2\text{NHBH}_3$	59	9.8	6-10	-
$\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	32	6.0	8-11	1.16

### 2.1.3 ตัวก่อไอออนเชิงซ้อน (Complexing Agent)

ตัวก่อไอออนเชิงซ้อนเป็นสารเติมตัวหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการชุบเคลือบผิวอนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า เช่น ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์เพื่อป้องกันไม่ให้ pH เกิดการเปลี่ยนแปลงที่เร็วจนเกินไป ป้องกันการตกตะกอนของเกลือนิกเกิลในรูปของนิกเกิลฟอสไฟด์ และลดความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลอิสระในน้ำยาชุบสำหรับตัวก่อไอออนเชิงซ้อนที่นิยมใช้แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวก่อไอออนเชิงซ้อน<sup>[11]</sup>

ตัวก่อไอออนเชิงซ้อน	โครงสร้าง	pH
Monodentate		
Acetate	CH <sub>3</sub> COOH	1.5
Propionate	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> COOH	-
Succinate	HOOCCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH	2.2
Bidentate		
Hydroxyacetate	HOCH <sub>2</sub> COOH	-
α-hydroxypropionate	CH <sub>2</sub> CH(OH)COOH	2.5
Aminoacetate	NH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH	6.1
Ethylenediamine	H <sub>2</sub> NCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> NH <sub>2</sub>	13.5
β-aminopropionate	NH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH	5.6
Malonate	HOOCCH <sub>2</sub> COOH	4.2
Pyrophosphate	H <sub>2</sub> O <sub>3</sub> POPO <sub>3</sub> H <sub>2</sub>	5.3
Tridentate		
Malate	HOOCCH <sub>2</sub> CH(OH)COOH	3.4
Quadridentate		
Citrate	HOOCCH <sub>2</sub> (OH)C(COOH)COOH	6.9

### 2.1.4 สารเพิ่มเสถียรภาพ (Stabilizer)

สารเพิ่มเสถียรภาพมีหน้าที่ป้องกันการเกิดตะกอนเนื่องจากการสลายตัวของน้ำยาชุบระหว่างกระบวนการชุบเคลือบผิว โดยสารเพิ่มความเสถียรภาพจะดูดซับบนอนุภาคที่ไวต่อการตกตะกอน อย่างไรก็ตามการใช้สารเพิ่มเสถียรภาพจะส่งผลให้อัตราการชุบเคลือบผิวลดลงและถ้าใช้ในปริมาณมากจนเกินไปปฏิกิริยาการชุบเคลือบผิวจะหยุดลง สำหรับสารเพิ่มความเสถียรภาพที่นิยมใช้ในเชิงพาณิชย์มี 4 กลุ่มด้วยกันดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) อนุมูลบวกของโลหะเช่น  $\text{Sn}^{2+}$  และ  $\text{Pb}^{2+}$
- 2) อนุมูลลบที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบเช่น  $\text{AsO}_2^-$  และ  $\text{IO}_3^-$
- 3) กรดอินทรีย์ชนิดไม่อิ่มตัว เช่น Maleic และ Itaconic
- 4) สารประกอบของกำมะถัน เช่น Thiourea และ Mercaptobenzothiazole เป็นต้น

## 2.2 กลไกการชุบเคลือบผิวอนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า

กลไกการชุบเคลือบผิวอนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้าที่มีการกล่าวถึงนั้นมี 4 กลไกหลักด้วยกันดังนี้

### 2.2.1 Hydrogen Mechanism



หลังจากปฏิกิริยาที่ (3) เกิดขึ้นแล้ว อะตอมไฮโดรเจนที่ดูดซับบนผิวชิ้นงานจะรีดิวซ์ไอออนนิกเกิลดังนี้



ปฏิกิริยาการชุบเคลือบผิวที่เกิดผ่านกลไกนี้จะมีการปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนร่วมด้วยระหว่างกระบวนการชุบเคลือบผิวดังปฏิกิริยาที่ (5)



อย่างไรก็ตาม Gutzeit ไม่เห็นด้วยที่ว่าก๊าซไฮโดรเจนที่ถูกปลดปล่อยออกมานั้นมาจากไฮโดรเจนสองอะตอมที่ถูกดูดซับบนพื้นผิว ดังนั้น Gutzeit จึงเสนอว่าก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นนั้นเกิดมาจากไฮออนไฮโปฟอสไฟท์ระหว่างที่เกิดไอออนเมตะฟอสไฟท์ (Methaphosphite) ดังนี้



และในระหว่างกระบวนการเคลือบผิวอนิกเกิลนั้นจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างไฮโปฟอสไฟท์กับอะตอมไฮโดรเจนร่วมดังนี้



### 2.2.2 Hydride Transfer Mechanism

Hersch เสนอว่าพฤติกรรมของไฮโปฟอสไฟท์จะเหมือนกับการรีดักชันไอออนนิกเกิลด้วยโบโรไฮไดรด์ ดังนั้น Hersch จึงได้เสนอว่าไฮโปฟอสไฟท์จะสร้างไอออนไฮไดรด์ (H) ขึ้น ซึ่งกลไกนี้ได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสนับสนุนจาก Lukes ในเวลาต่อมา ในสถานะที่เป็นกรดปฏิกิริยาตั้งต้นที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับไฮโปฟอสไฟท์ดังนี้



และในสถานะที่เป็นเบสจะเกิดปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



ปฏิกิริยารีดักชันของไอออนนิกเกิลที่เกิดผ่านกลไกนี้จะเกิดขึ้นดังนี้



ในขณะเดียวกันไอออนไฮโดรเจนจะทำปฏิกิริยากับน้ำหรือไอออนไฮโดรเจนเกิดเป็นก๊าซไฮโดรเจนดังนี้ ในสถานะที่เป็นกรด



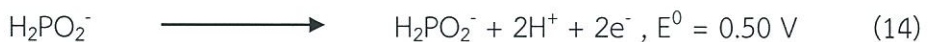
ในสถานะที่เป็นเบส



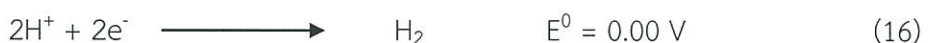
Lukes ได้เสนอว่าไฮโดรเจนที่อยู่ในรูปของไอออนไฮโดรเจนนั้นจะเกิดพันธะกับฟอสฟอรัสในโมเลกุลของไฮโปฟอสไฟท์และเมื่อปฏิกิริยาที่ (8) เกิดรวมด้วยส่งผลให้ผิวเคลือบที่เกิดขึ้นมีฟอสฟอรัสเข้าเคลือบร่วม

### 2.2.3 Electrochemical Mechanism

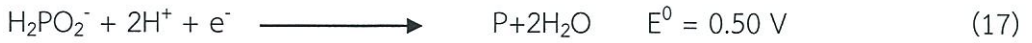
กลไกนี้มีแนวคิดมาจาก Brenner และ Riddell และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจากนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน โดยกลไกนี้จะสร้างอิเล็กตรอนผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างน้ำกับไฮโปฟอสไฟท์ดังนี้



และเกิดปฏิกิริยารีดักชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีการใช้อิเล็กตรอนที่สร้างปฏิกิริยาที่ (14) ดังนี้



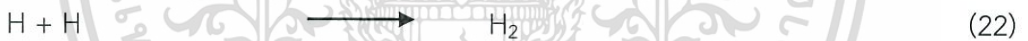
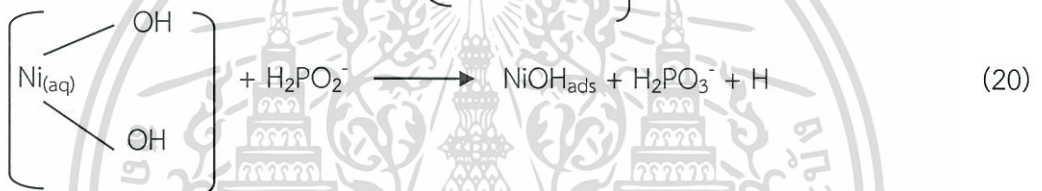
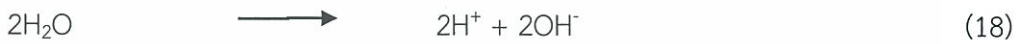
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การเคลือบผิวผ่านกลไกดังกล่าวพบว่าระหว่างกระบวนการชุบเคลือบผิวจะมีการปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนออกมาเช่นเดียวกัน

#### 2.2.4 Cavallotti และ Salvago Mechanism

กลไกนี้เป็นกลไกที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโคออร์ดิเนชันของไอออนไฮดรอกซิลกับไอออน Hexaonickel โดยปฏิกิริยาการชุบเคลือบผิวนิกเกิลบนพื้นผิวชิ้นงานจะเกิดขึ้นดังนี้



### 2.3 การกัดกร่อน(Corrosion)

การกัดกร่อน คือ กระบวนการที่โลหะเกิดการสูญเสียแรงยึดระหว่างอะตอมของโลหะนั้นส่งผลให้อะตอมกลายเป็นไอออนหลุดออกมาจากชิ้นงานหรือชิ้นงานเกิดการสูญเสียเนื้อโลหะ ดังนั้นแสดงในรูปปฏิกิริยาที่ (24)



การกัดกร่อนสามารถเกิดได้กับโลหะเกือบทุกชนิด โดยโลหะแต่ละชนิดจะเกิดการกัดกร่อนได้ยากง่ายแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของโลหะและสิ่งแวดล้อมที่โลหะนั้นสัมผัส การกัดกร่อนโดยทั่วไปสามารถจำแนกได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 การกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ (Uniform Corrosion)

การกัดกร่อนชนิดนี้โลหะจะถูกกัดกร่อนอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นผิวของโลหะ โดยการกัดกร่อนจะเกิดจากปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า การกัดกร่อนนี้จะทำให้โลหะบางลงเรื่อยๆ อย่างไรก็ตามการกัดกร่อนชนิดนี้ไม่ก่อให้เกิดปัญหาที่รุนแรงนักเมื่อเทียบกับการกัดกร่อนชนิดอื่นๆ ซึ่งสามารถลดหรือป้องกันได้โดย

1. เลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อม
2. ใช้สารยับยั้งการกัดกร่อน
3. ใช้การป้องกันแบบคาโทดิก (Cathodic Protection)
4. ทำการเคลือบผิวโลหะ

### 2.3.2 การกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Galvanic Corrosion)

การกัดกร่อนแบบกัลวานิกเกิดจากการสัมผัสกันของโลหะสองชนิดที่มีค่าต่างศักย์ไฟฟ้าเฉพาะตัวที่แตกต่างกันในสภาวะแวดล้อมที่เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อเวลาผ่านไปโลหะที่มีศักย์ต่ำกว่าจะเกิดการกัดกร่อน โดยความรุนแรงของการกัดกร่อนจะยิ่งมากขึ้นเมื่อความแตกต่างของศักย์ของโลหะทั้งสองแตกต่างกันมากขึ้น การป้องกันการกัดกร่อนแบบกัลวานิกสามารถทำได้ดังนี้

1. เลือกใช้วัสดุที่มีศักย์ใกล้เคียงกันมากที่สุดเท่าที่จะทำได้
2. ใช้ชิ้นงานหรือโลหะทั้งสองที่มีพื้นที่ที่ใกล้เคียงกัน
3. ใช้ฉนวนกันบริเวณที่โลหะสองชนิดสัมผัสกัน
4. ใช้สารเคลือบผิวให้เหมาะสมและดูแลผิวเคลือบให้อยู่ในสภาพดี
5. ใช้สารยับยั้งเพื่อลดความรุนแรงของการกัดกร่อน
6. ออกแบบชิ้นงานให้สามารถปรับเปลี่ยนชิ้นงานที่มีศักย์ต่ำกว่าได้ง่าย
7. ติดตั้งวัสดุที่มีศักย์ต่ำกว่าโลหะทั้งสอง (sacrificial anode) เพื่อให้เกิดการกัดกร่อนแทน

### 2.3.3 การกัดกร่อนในที่อับ (crevice corrosion)

การกัดกร่อนในที่อับมักจะเกิดขึ้นในพื้นที่อับบนผิวโลหะที่สัมผัสโดยตรงกับสารกัดกร่อนที่ค้างอยู่ตามพื้นที่ที่เป็นหลุมหรือซอกหรือบริเวณแคบๆ ที่มีสารละลายเข้าไปซึ่งโดยไม่มีการถ่ายเททำให้ปริมาณออกซิเจนในซอกไม่เท่ากับภายนอก ส่งผลให้บริเวณในซอกเกิดเป็นขั้วแอโนดหรือเกิดการสูญเสียเนื้อโลหะ การป้องกันการกัดกร่อนชนิดนี้สามารถทำได้โดย

1. ใช้การเชื่อมแบบ butt joint แทนการย้ำหมุดหรือการยึดด้วยสลักเกลียว
2. ปิดบริเวณที่เป็นที่อับด้วยการเชื่อมหรือการบัดกรี
3. ออกแบบชิ้นงานไม่ให้มีมุมแหลม มุมอับ
4. ใช้ปะเก็นที่เป็นของแข็งและไม่มีการดูดซึม

### 2.3.4 การกัดกร่อนแบบรูเข็ม(Pitting Corrosion)

การกัดกร่อนแบบรูเข็มเป็นการกัดกร่อนที่ก่อให้เกิดความเสียหายที่รุนแรงที่สุด โดย pitting เป็นการกัดกร่อนที่ก่อให้เกิดรูหรือหลุมในเนื้อโลหะที่เกิดขึ้นเฉพาะที่ การกัดกร่อนแบบรูเข็มพบได้บ่อยกับโลหะที่มีการสร้างฟิล์มป้องกันการกร่อนแล้วแต่เมื่อฟิล์มเกิดการแตกออกจะทำให้เกิดการกัดกร่อนที่ลึกลงไปเรื่อยๆ การกัดกร่อนชนิดนี้อาจจะป้องกันด้วยการเติมสารที่ช่วยทำให้เกิดฟิล์มป้องกัน (passive film) ที่มีความเสถียรมากขึ้น

### 2.3.5 การสูญเสียส่วนผสมบางตัว(selective leaching)

การสูญเสียส่วนผสมบางตัวเป็นรูปแบบหนึ่งของการกัดกร่อนที่เกิดจากการละลายของธาตุบางตัวออกจากโลหะผสม โดยธาตุที่มีความว่องไวต่อสิ่งแวดล้อมหรือธาตุที่มีศักย์ต่ำกว่าจะถูกกัดกร่อนออกไปทำให้เหลือแต่โครงสร้างพรุนของโลหะที่เสถียรกว่าเป็นส่วนใหญ่ การป้องกันการสูญเสียส่วนผสมบางตัวสามารถป้องกันได้โดย

1. ลดความรุนแรงของสภาวะสิ่งแวดล้อม เช่น กำจัดออกซิเจนจากสารละลาย
2. ใช้การป้องกันแบบคาโทดิก

### 2.3.6 การกัดกร่อนตามขอบเกรน(intergranular corrosion)

การกัดกร่อนตามขอบเกรนจะเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าภายในเนื้อเกรน เนื่องจากบริเวณขอบเกรนเป็นบริเวณที่มีความบกพร่องต่างๆมากมาย ดังนั้นหากมีอนุภาคหรือธาตุหนึ่งๆ มากหรือน้อยเกินไปจะทำให้ขอบเกรนถูกกัดกร่อน ถ้าบริเวณขอบเกรนแสดงตัวเป็นแอโนดตลอดเวลาการกัดกร่อนก็จะเกิดขึ้นเฉพาะที่ขอบเกรนเท่านั้นจะทำให้วัสดุมีโอกาสแตกออกจากกันได้

### 2.3.7 การกัดกร่อนแบบสึกกร่อน(erosion corrosion)

การกัดกร่อนแบบสึกกร่อนเกิดจากปรากฏการณ์เชิงกลร่วมกับปรากฏการณ์เชิงเคมี ทำให้เกิดการทำให้ละลายและการเสื่อมสภาพของโลหะอย่างรวดเร็ว การกัดกร่อนประเภทนี้เริ่มจากบริเวณที่มีของไหลไหลผ่าน และของไหลนี้มักไหลด้วยความเร็วสูง และหากของไหลมีฤทธิ์กัดกร่อนสูงจะทำให้โลหะถูกกัดกร่อนได้ง่าย

### 2.3.8 การกัดกร่อนร่วมกับความเค้น(stress corrosion)

การกัดกร่อนชนิดนี้จะเกิดขึ้นกับโลหะที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีสารกัดกร่อนและมีความเค้นตึงกระทำกับโลหะ โดยที่ความเค้นตึงนี้อาจจะเป็นความเค้นตึงค้างหรือความเค้นจากภายนอกที่มากระทำ ความเสียหายที่เกิดขึ้นภายในเนื้อโลหะโดยจะเกิดเป็นรอยร้าวเล็กๆจำนวนมาก โดยทั่วไปการกัดกร่อนชนิดนี้จะเกิดกับโลหะผสมที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่เฉพาะเท่านั้น เช่น ทองเหลืองกับแอมโมเนีย และเหล็กกล้าไร้สนิมกับไฮดรอกไซด์ เป็นต้น การป้องกันการกัดกร่อนชนิดนี้สามารถทำได้โดย

1. ลดความเค้นในเนื้อโลหะลงหรือลดความเค้นที่กระทำกับผิวโลหะ
2. ลดความรุนแรงของสภาวะแวดล้อม
3. เลือกใช้โลหะให้เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมที่ใช้งาน
4. ใช้การป้องกันแบบคาโทดิก
5. ใช้สารยับยั้ง

อัตราการกัดกร่อน(corrosion) ของโลหะแต่ละชนิดแตกต่างกันออกไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของโลหะนั้น สิ่งแวดล้อมที่โลหะสัมผัสและโครงสร้างจุลภาคของโลหะ เป็นต้น อัตราการกัดกร่อนสามารถคำนวณได้จากกฎของฟาราเดย์ดังนี้

$$CR = K \left[ \frac{i_{corr}}{\rho_{Ni-p}} \right] EW_{Ni-p} \quad (24)$$

เมื่อ	CR	คือ	อัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบ (mm/year)
	K	คือ	ค่าคงที่ ( $3.27 \times 10^{-3}$ mmg/ $\mu$ A.cm.year)
	$i_{corr}$	คือ	ความหนาแน่นของกระแสการกัดกร่อน
	$\rho_{Ni-p}$	คือ	ความหนาแน่นของผิวเคลือบ
	$EW_{Ni-p}$	คือ	น้ำหนักสมมูลของผิวเคลือบที่เตรียมได้ซึ่งสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$EW_{Ni-p} = \frac{W_{Ni} X W_p}{[(f_{Ni} X W_p) + (f_p X W_{Ni})]} \quad (25)$$

เมื่อ	$f_{Ni}$ และ $f_p$	คือ	สัดส่วนของ Ni และ P ในผิวเคลือบเมื่อ ( $f_{Ni} + f_p = 1$ )
	$W_{Ni}$ และ $W_p$	คือ	น้ำหนักสมมูลของโลหะ Ni และ P ตามลำดับ

$$W = \frac{e}{n} \quad (26)$$

เมื่อ	e	คือ	น้ำหนักอะตอม
	n	คือ	วาเลนซ์ของแต่ละธาตุ

$$f_{Ni} = \frac{Ni(wt\%)}{[(Ni(wt\%)+P(wt\%))]} \quad (27)$$

$$f_p = \frac{P(wt\%)}{[(Ni(wt\%)+P(wt\%))]} \quad (28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	Ni(wt%)	คือ	ร้อยละโดยน้ำหนักของโลหะนิกเกิลในผิวเคลือบ
	P(wt%)	คือ	ร้อยละโดยน้ำหนักของฟอสฟอรัสในผิวเคลือบและความหนาแน่นของผิวเคลือบสามารถคำนวณได้จาก

$$P_{Ni-P} = \frac{P_{Ni} \times P_p}{[(f_{Ni} \times P_p) + (f_p \times P_{Ni})]} \quad (29)$$

เมื่อ	$\rho_{Ni}$ และ $\rho_p$	คือ	ความหนาแน่นของ Ni ( $8.908 \text{ g/cm}^3$ ) และ P ( $1.83 \text{ g/cm}^3$ ) ตามลำดับ
-------	--------------------------	-----	---

## 2.4 Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)

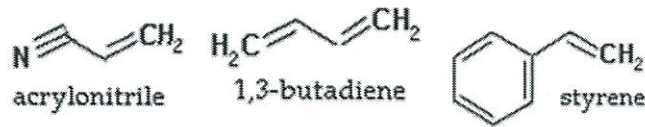
ในอุตสาหกรรมการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกจะแยกพลาสติกออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ด้วยกันคือ Hygroscopic Resins เช่น ABS, PA, PC, PET และ Non-Hygroscopic Resins โดยพลาสติกประเภท Hygroscopic Resins จำเป็นจะต้องมีกระบวนการอบเม็ดพลาสติกก่อนนำไปผลิต ซึ่งแตกต่างจากเม็ดพลาสติกประเภท Non-Hygroscopic Resin ที่ไม่จำเป็นต้องมีกระบวนการอบเม็ดพลาสติกก่อนการผลิต งานวิจัยนี้ได้ทำการรวบรวมองค์ความรู้จากแหล่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับพลาสติกประเภท Hygroscopic Resins โดยเฉพาะเจาะจงไปที่พลาสติกเอบีเอส โดยเริ่มตั้งแต่โครงสร้างของพลาสติกเอบีเอส คุณสมบัติเด่นของพลาสติกเอบีเอส คุณสมบัติด้อยของพลาสติกเอบีเอส และการนำไปประยุกต์ใช้

### 2.4.1 โครงสร้างของพลาสติกเอบีเอส

เอบีเอส (ABS) ย่อมาจาก อะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (acrylonitrile-butadiene-styrene) เป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันของโมโนเมอร์ 3 ชนิด คือ สไตรีน (Styrene) อะคริโลไนไตรล์ (Acrylonitrile) และโพลีบิวทาไดอีน (Polybutadiene) ซึ่งโพลิเมอร์ที่ได้จะเรียกว่า เทอร์โพลิเมอร์ (Terpolymer) โดยโมโนเมอร์แต่ละชนิดที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์พลาสติกเอบีเอส ขึ้นมานั้น ล้วนมีผลต่อคุณสมบัติของพลาสติกเอบีเอส ทั้งสิ้น อะคริโลไนไตรล์มีผลต่อคุณสมบัติทนความร้อนและสารเคมี บิวทาไดอีนมีผลต่อคุณสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Strength) และสไตรีนมีผลทำให้พลาสติกมีพื้นผิวเป็นมันเงาตัดแต่งวัสดุได้ง่ายและช่วยลดต้นทุน เนื่องจากพลาสติกเอบีเอส เป็นพลาสติกที่ได้จากการนำโมโนเมอร์ 3 ชนิดมาผลิต ดังนั้นผู้ผลิตพลาสติกเอบีเอส จึงสามารถปรับเปลี่ยนสัดส่วนของโมโนเมอร์ทั้ง 3 ชนิดเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการได้

พลาสติกเอบีเอส ที่จำหน่ายในท้องตลาดจะประกอบด้วยอะคริโลไนไตรล์ประมาณ 15-30% โพลีบิวทาไดอีน ประมาณ 5-30% สไตรีนประมาณ 45-75% และมีการใช้โมโนเมอร์บางชนิดเพื่อเพิ่มคุณสมบัติบางประการให้กับพลาสติกเอบีเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 มอนอเมอร์ที่ใช้ในการผลิต ABS<sup>[2]</sup>

#### 2.4.2 คุณสมบัติเด่นของพลาสติกเอบีเอส

1. แข็งแรงยืดหยุ่น เป็นคุณสมบัติเด่นของพลาสติกเอบีเอส หากเทียบกับพลาสติกชีวภาพหรือ Polylactic Acid(PLA) ซึ่งมีความแข็งแรงกว่าแต่เปราะ ชิ้นงานที่ทำจากการพิมพ์ 3 มิติ ที่ใช้พลาสติกเอบีเอสนั้นสามารถทนต่อแรงบีบ แรงดึง ได้ดี จึงเหมาะในการชิ้นงานทางกลไก วิศวกรรม เช่น ข้อต่อต่างๆ โข่ หรือตาข่าย สามารถนำไปใช้กลางแจ้งได้ เนื่องจากเป็นผลผลิตจากปิโตรเลียมทำให้ทนต่อสภาพอากาศได้ดี
2. มีจุดหลอมเหลวสูง คือ 200-250 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าหากเทียบกับ PLA ซึ่งมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 160-220 องศาเซลเซียส ทำให้สามารถใช้งานในสภาพที่ร้อนกว่าได้ แต่จุดเด่นนี้ก็อาจเป็นจุดด้อยได้เหมือนกัน โดยมันจะเย็นตัวช้ากว่า และต้องการ Heated Bed (ฐานทำความร้อนเป็นฐานชิ้นงาน)
3. ชุ่น โดยปกติแล้วพลาสติกเอบีเอส มีความใส แต่เมื่อใส่สีเข้าไปแล้วจะมีคุณสมบัติคือชุ่น ชิ้นงานที่เกิดจากการพิมพ์ 3 มิติ มีลักษณะชุ่นทึบ เหมาะกับชิ้นงานที่ต้องการคุณสมบัติทึบ เช่น ภาชนะใส่ของ
4. ตกแต่งชิ้นงานได้ง่าย สามารถใช้กระดาษทราย หรืออะซิโตนซึ่งสามารถทำลายพลาสติกเอบีเอสได้ดี เราจึงสามารถใช้ประโยชน์นี้ได้หลายแบบ เช่น หยอดอะซิโตน 2-3 หยดเพื่อต่อชิ้นงาน 2 ชิ้นเข้าด้วยกัน ใช้อะซิโตนในการทำความสะอาดชิ้นงาน จุ่มงานในอะซิโตน เพื่อให้ชิ้นงานเงาขึ้น (Glossy) หรือเอาอะซิโตนทาบางๆ ที่แท่นรองชิ้นงานเพื่อให้แกะชิ้นงานได้ง่าย เป็นต้น

#### 2.4.3 คุณสมบัติด้อยของพลาสติกเอบีเอส

1. กลิ่นแรง เนื่องจากเอบีเอสมีส่วนประกอบหลักเป็นพลาสติก เมื่อโดนความร้อนถูกฉีดออกมาจากหัวฉีดจะมีกลิ่นพลาสติกไหม้ แต่เมื่อปล่อยให้เย็นชิ้นงานอาจมีกลิ่นอ่อนเหมือนพลาสติกทั่วไป
2. ขอบชิ้นงานไม่คม เนื่องจากมีลักษณะหนืดเวลาถูกฉีดออกจากหัวฉีดจะมีความโค้งมนโดยเฉพาะชิ้นงานที่ต้องการขอบที่มีความคมๆ ใช้พลาสติกเอบีเอสอาจจะไม่เหมาะสม
3. มีโอกาสเสียรูปได้ง่ายจากการหดตัว เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวสูง และเย็นช้าทำให้ชิ้นงานมีโอกาสหดตัว หรือเสียรูปได้ง่ายขณะพิมพ์ด้วยแม่พิมพ์ 3 มิติ ดังนั้นไม่ควรปล่อยให้เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เร็วเกินไปอาจจะทำให้เสียรูปบิดเบี้ยวได้ สิ่งแวดล้อมที่ดีในการทำพลาสติกเอบีเอส คือให้เย็นตัวอย่างช้าๆเอง ไม่ใช่ลมเป่า

#### 2.4.4 การนำไปประยุกต์ใช้งาน

1. ในอุตสาหกรรมรถยนต์ พลาสติกที่จะนำมาใช้จะต้องมีมาตรฐานคุณภาพสูง โดยจะต้องคงสภาพรูปร่างได้ดีไม่โค้งงอ หรือบิดตัวเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความเค้น หรืออุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงไปมาก ซึ่งพลาสติกเอบีเอส มีคุณสมบัติที่ทนต่อสภาพดังกล่าวได้สูงจึงเหมาะกับการใช้เป็นชิ้นส่วนในรถยนต์
2. เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ความต้องการเรื่องวัสดุสำหรับอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แตกต่างจากอุตสาหกรรมรถยนต์ วัสดุที่ใช้เป็นโครงภายนอกของเครื่องใช้ไฟฟ้านอกจากจะต้องมีความแข็งแรง ทนต่อการขีดข่วน (scratch) และการเสียดสี(wear) ดีแล้วยังต้องมีความสวยงาม เช็ดทำความสะอาดง่าย และไม่เกิดไฟฟ้าสถิตย์ซึ่งเอบีเอสสามารถตอบสนองความต้องการเหล่านี้ได้
3. เครื่องใช้สำนักงาน เครื่องใช้อุปกรณ์สำนักงานต้องการแบบที่ดูดีและมีสีสวยงดงาม ซึ่ง เอบีเอสสามารถตอบสนองได้ดีเนื่องจากผสมสีส่นได้หลากหลาย และบางเกรดก็สามารถนำมาชุบเคลือบด้วยไฟฟ้าเพื่อให้ได้ผิวแวววาวเหมือนโลหะ อีกทั้งสามารถเลือกใช้กระบวนการขึ้นรูปเพื่อให้ชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์มีพื้นผิวเป็นมันเงา หรือเรียบด้านแล้วแต่ความต้องการ
4. อุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น ใช้ผลิตอุปกรณ์กีฬา ท่อส่งก๊าซ หมวกกันน็อก โทรศัพท์มือถือ เป็นต้น

## 2.5 การทดสอบสภาพการยึดติด

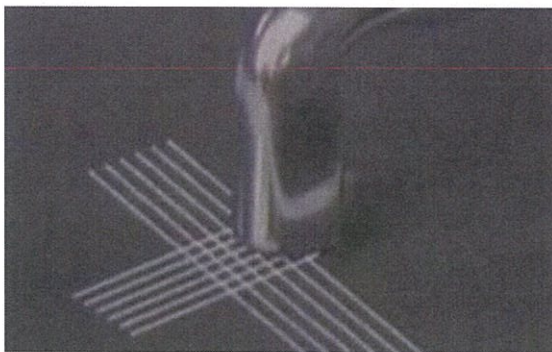
ในอุตสาหกรรมที่มีการเคลือบ ฟัน หรือทาสี การทดสอบความยึดติดบนพื้นผิวนั้นมีความสำคัญมาก โดยการทดสอบการยึดติดมักจะถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบว่าผิวเคลือบนั้นจะอยู่กับพื้นผิวเพื่อที่จะได้นำมาใช้งานได้ตามความต้องการ ในการทดสอบการยึดติดแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ Cross-Cut Test และ Pull-Off Test

### 2.5.1 Cross-Cut Test

เป็นวิธีทดสอบสภาพการยึดติดของผิวเคลือบ โดยใช้เครื่องมือในการตัดรูปแบบฟัน ขูดเป็นตาข่ายไปบนผิวเคลือบมีวิธีการทดสอบ ดังนี้

1. ใช้มีด (cross cut guide) กรีดฟิล์มให้เป็นตารางโดยแต่ละเส้นห่างกัน 1 มิลลิเมตร จำนวน 11 เส้น แล้วเปลี่ยนทิศทางการกรีด (cross cut guide) ให้ตั้งฉากกับรอยตัดเดิม แล้วกรีดให้ครบ 11 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ลักษณะการกรีดด้วย cross cut guide<sup>[20]</sup>

2. นำเทปความมาตรฐานที่มาพร้อมกับเครื่องมือทดสอบติดลงบนรอยกรีดให้ครอบคลุมรอยกรีดทุกร่อง แล้วรีดเทปกาให้สนิทบนผิวเคลือบ



รูปที่ 2.4 ลักษณะของการติดเทปมาตรฐานบนรอยกรีด<sup>[20]</sup>

3. ทำการดึงเทปออกจากผิวเคลือบด้วยความเร็วสม่ำเสมอ โดยมีองศาการดึงอยู่ที่ 180 องศา ตามมาตรฐาน ASTM D3359









รูปที่ 2.5 ลักษณะของการดึงเทปมาตรฐานจากผิวเคลือบ<sup>[20]</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หลังจากทำการทดสอบแล้วตรวจสอบดูว่ามีการหลุดลอกของผิวเคลือบหรือไม่ แล้วนำไปเทียบกับตารางมาตรฐาน ASTM D3359 เพื่อดูสภาพการยึดติดว่าอยู่ใน Classification ใด

ตารางที่ 2.3 Adhesion scale ของมาตรฐาน ASTM D3359<sup>[20]</sup>

Classification	%Area removed	Surface of cross-cut area from which flaking occurred
5	0 %	
4	<5 %	
3	5-15 %	
2	15-35 %	
1	35-65 %	
0	>65 %	

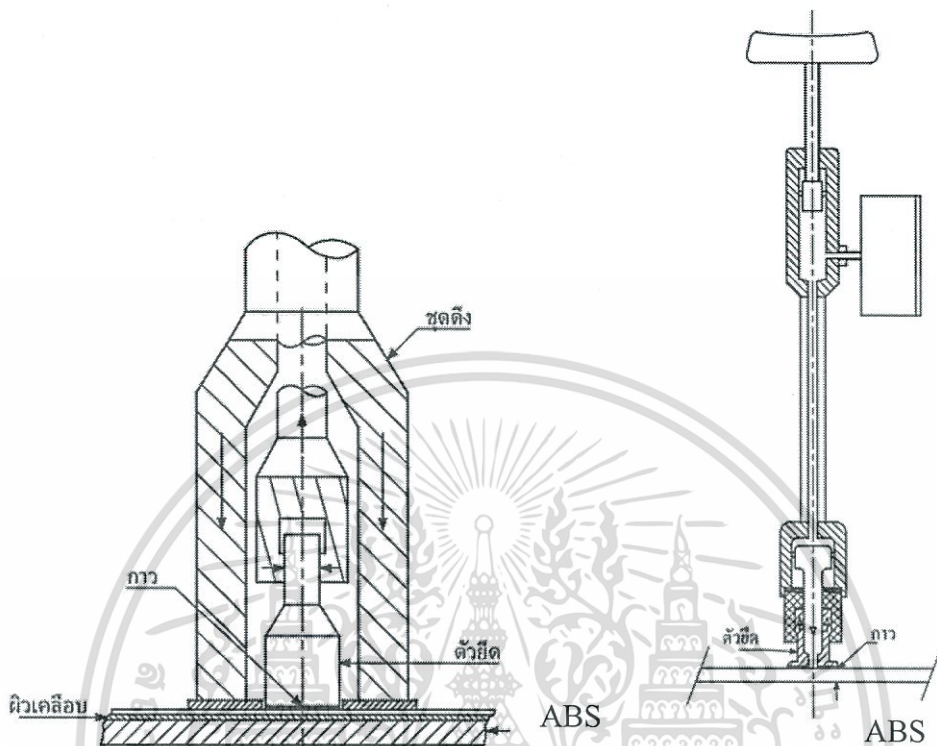
### 2.5.2 Pull-Off Test

เป็นเครื่องวัดแรงยึดเกาะผิวบนวัสดุต่างๆ เช่น โลหะ ไม้ คอนกรีต และวัสดุอื่นๆ โดยใช้แรงดึงจากระบบไฮดรอลิก ซึ่งวิธีการทดสอบ Pull-off test จะทำการทดสอบ 2 ลักษณะ คือ หาแรงดึงที่ตั้งฉากกับผิวทดสอบที่มากที่สุดโดยผิวเคลือบยังต้านอยู่ได้ก่อนที่จะหลุดออก หรือทดสอบว่าผิวเคลือบยังคงติดแน่นหรือไม่เมื่อดึงด้วยแรงดึงตามที่กำหนด วิธีการทดสอบทำได้โดย

1. ติดตัวยึดให้ตั้งฉากกับพื้นผิวเคลือบด้วยกาว หลังจากกาวแห้งแล้วให้ติดเครื่องทดสอบกับตัวยึดในแนวเดียวกันกับแรงดึงซึ่งตั้งฉากกับผิวทดสอบ
2. ค่อยๆเพิ่มแรงดึงจนผิวเคลือบหลุด หรือจนถึงค่าที่กำหนดไว้
3. เครื่องทดสอบการติดแน่นเป็นเครื่องทดสอบที่ใช้ทั่วไป ต้องสอบเทียบได้ที่ค่า 0 และค่าอื่นตามต้องการ ต้องมีความแม่นยำตามเกณฑ์กำหนดของเครื่องมือ ควรเลือกใช้เครื่องทดสอบที่มีช่วงแรงดึงเหมาะสมกับผิวเคลือบที่ต้องการทดสอบ
4. ภาวะทดสอบให้ทดสอบที่อุณหภูมิ  $27 \pm 2$  องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ  $65 \pm 5$  ในกรณีการทดสอบภาคสนาม ต้องทำการบันทึกอุณหภูมิพื้นผิวชั้นทดสอบไว้ด้วยโดยอุณหภูมิที่ต่ำหรือสูงเกินไปอาจมีผลต่อค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือและมีผลต่อการเปลี่ยนสภาพของผิวเคลือบ
5. บันทึกค่าความเค้น X เมื่อหลุดหรือบันทึกค่าความเค้นที่กำหนดเป็นเมกะพาสคัล โดยมีเลขนัยสำคัญเป็น 2 ถ้าวัสดุหลุดออกให้หาว่าข้อบกพร่องเกิดขึ้นภายในผิวเคลือบ หรือกับแผ่นทดสอบ หรือระหว่างชั้นกาวกับผิวเคลือบ หรือข้อบกพร่องใดๆ ดังกล่าวร่วมกัน ถ้าข้อบกพร่องเกิดขึ้นระหว่างชั้นกาวกับผิวเคลือบให้บันทึกค่าความติดแน่น  $>X$  เมกะพาสคัล ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารของสำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อสำนักหอสมุดกลาง โทร. 0-2616-1111 หรือ 0-2616-1112

กรณีที่มีค่านี้น้อยกว่าค่าต่ำสุดที่กำหนดไว้ให้ทดสอบซ้ำโดยใช้กาวที่มีความติดแน่นมากกว่าเดิมแล้วปฏิบัติซ้ำตั้งแต่ข้อ 2.1 ถึง 2.4



รูปที่ 2.6 เครื่องทดสอบสภาพการยึดติด Pull-Off Test<sup>[8]</sup>

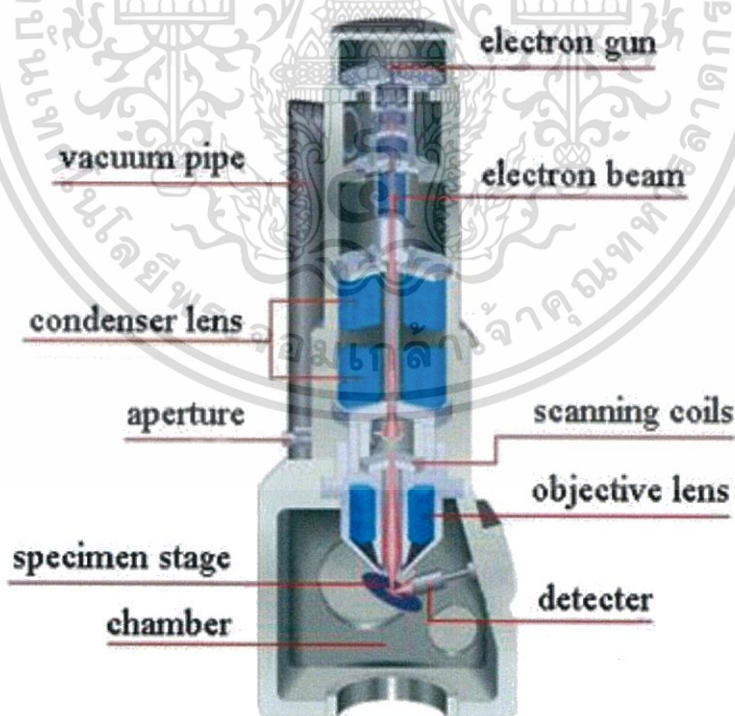
สำหรับเครื่องทดสอบสภาพการยึดติดแบบ Pull-Off Test อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ชุดดึง (Detaching Assembly) ประกอบด้วยตัวจับอยู่ตรงกลางซึ่งมีตัวล็อคเพื่อจับตัวยึดไม่ให้ขยับจากผิวเคลือบที่ต้องการทดสอบ และต้องติดตั้งให้ตรงเพื่อให้แรงดึงตั้งฉากกับพื้นผิว การดึงตัวยึดต้องสม่ำเสมอและต่อเนื่องเพื่อให้แรงดึงเกิดในแนวตรงโดยปราศจากแรงบิด
2. นาฬิกาจับเวลา เป็นอุปกรณ์ที่ต้องใช้ร่วมกับหน้าปัดหรือสเกลแสดงค่าแรงดึง เพื่อควบคุมอัตราความเค้นให้น้อยกว่า 1 เมกะพาสคัลต่อวินาที และให้ได้รับความเค้นสูงสุดภายในเวลา 100 วินาที
3. กาว เป็นกาวที่ปราศจากตัวทำละลายที่มีค่าความติดแน่นระหว่างกาวกับฟิล์มและตัวยึด สูงกว่าฟิล์มกับพื้นผิว และหลังการทดลองต้องไม่หลุดที่ชั้นกาว
4. ที่จับตัวยึด (magnetic or mechanical clamp) ใช้ในกรณีที่จำเป็นสำหรับประคองตัวยึดไม่ให้เคลื่อนที่ขณะที่กาวกำลังแห้งตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ลำอิเล็กตรอนเป็นแหล่งกำเนิดแสง เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาลักษณะสัณฐานของวัสดุในระดับจุลภาค ซึ่งเป็นรายละเอียดที่เล็กมาก และเนื่องจากข้อจำกัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงที่มีความยาวคลื่นแสงขนาดใหญ่กว่า ลักษณะสัณฐานบางชนิดที่ต้องการศึกษา และกำลังความสามารถในการแยกชัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงธรรมดาที่มีค่าต่ำ ใช้ดูวัตถุเล็กสุดประมาณ 0.2 ไมโครเมตร และให้กำลังขยายสูงสุดไม่เกิน 3000 เท่า ซึ่งไม่สามารถตรวจสอบรายละเอียดของวัตถุที่มีขนาดเล็กมากๆ ได้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูง มีความสามารถในการแยกชัดดี เนื่องจากมีความยาวคลื่นสั้น เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของวัสดุ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีกำลังขยายมากกว่า 3000 เท่า จนถึงระดับมากกว่า 100000 เท่า และสามารถแจกแจงรายละเอียดของภาพ ซึ่งขึ้นกับลักษณะตัวอย่างได้ตั้งแต่ 3 ถึง 100 นาโนเมตร อีกทั้งยังสามารถใช้งานร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์อื่น เช่น Wavelength Dispersive Spectrometry (WDS) ที่เป็นข้อมูลทางเคมี และ Energy Dispersive Spectrometry (EDS) จึงทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

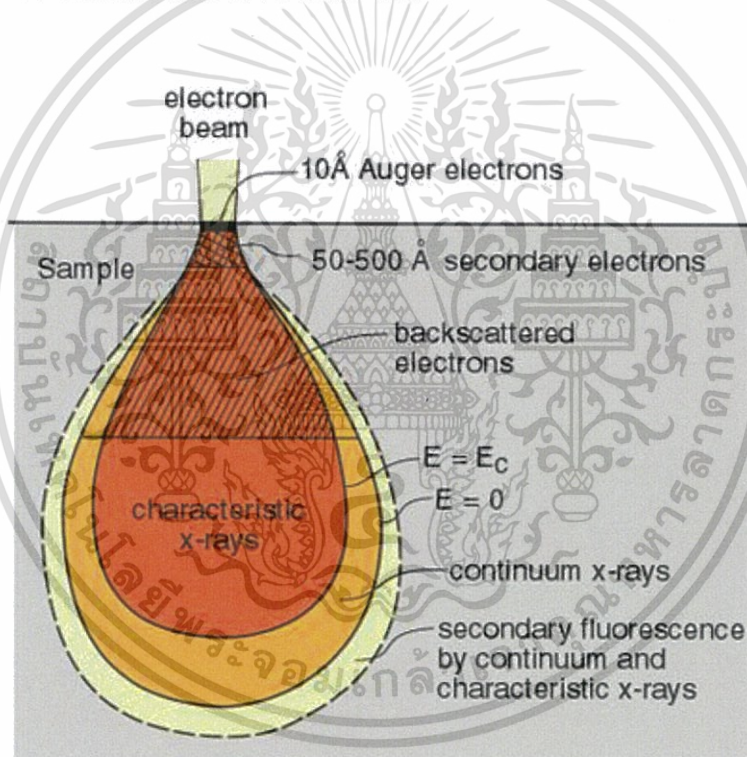


รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของเครื่อง SEM<sup>[1]</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการการทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษาหลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย

และเนื่องจากลำอิเล็กตรอนที่วิ่งมากระทบชิ้นงานมีพลังงานสูง จึงทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชิ้นงานมีหลายระดับพลังงานแบ่งได้ 3 ระดับ ดังนี้



รูปที่ 2.8 ระดับพลังงานของอิเล็กตรอน<sup>[1]</sup>

1. อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron) เป็นอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชั้นแถบการนำ (Conduction Band) หรือแถบพลังงานเวเลนซ์ (Valance Band) ซึ่งไม่ต้องใช้พลังงานสูงสามารถหลุดออกจากผิวชิ้นงานได้ง่าย บางครั้งเรียกว่าอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งจะมีช่วงพลังงาน 10 ถึง 50 อิเล็กตรอนโวลต์ อิเล็กตรอนชนิดนี้จะใช้ในการสร้างภาพที่บริเวณพื้นผิวของชิ้นงานสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อิเล็กตรอนแบบกระเจิงกลับ (Back scattered electron) เป็นอิเล็กตรอนที่เกิดจากการที่ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งเข้าชนกับชิ้นงาน โดยสูญเสียพลังงานให้กับอะตอมในชิ้นงานเพียงบางส่วน แล้วเกิดการกระเจิงกลับออกมาจากชิ้นงาน ซึ่งพลังงานของอิเล็กตรอนชนิดนี้จะมีค่าตั้งแต่พลังงานของอิเล็กตรอนปฐมภูมิไปจนถึงพลังงานอิเล็กตรอนทุติยภูมิ ค่าพลังงานต่างๆ ที่กระเจิงกลับมานั้นจะขึ้นกับเลขมวลอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในชิ้นงาน ดังนั้นอิเล็กตรอนชนิดนี้จึงสามารถใช้สร้างภาพที่แสดงความแตกต่างของธาตุได้ โดยแสดงในรูปแบบของความเข้ม และความสว่างของภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละบริเวณ ใช้ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในชิ้นงาน
3. รังสีเอกซ์ (X-ray) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้น มีความถี่สูง เกิดจากการที่ลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงวิ่งเข้าชนชิ้นงาน ทำให้อิเล็กตรอนในชั้นโคจรต่างๆ ได้รับพลังงานมากพอจนหลุดออกจากวงโคจร แล้วอิเล็กตรอนจากชั้นโคจรถัดไปเข้ามาแทนที่ ทำให้มีการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา ซึ่งสเปกตรัมของรังสีที่ปล่อยออกมานี้สามารถนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุได้ โดยค่าพลังงานจะขึ้นกับเลขอะตอมของธาตุ ซึ่งจะใช้หัววัดรังสีเอกซ์ (EDS) ในการวิเคราะห์ข้อมูลประกอบกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

สำหรับลักษณะตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์โดยเครื่อง SEM สามารถทำการวิเคราะห์ทดสอบตัวอย่างได้ทั้งแบบของแข็ง ผง ฟิล์มเคลือบ ตัวอย่างทางชีวภาพ ตัวอย่างทางวัสดุ และอิเล็กทริกส์ โดยมีระบบการวิเคราะห์ 2 ระบบ คือ High Vacuum Mode และ Variable Pressure Mode

1. ระบบ High Vacuum Mode จะให้รายละเอียดสูง กำลังขยายสูง ภาพคมชัดดี โดยตัวอย่างที่สามารถวิเคราะห์ได้ต้องนำไฟฟ้า ไม่มีความชื้น หากตัวอย่างไม่นำไฟฟ้า จะต้องสามารถเคลือบทองหรือคาร์บอนได้ โดยไม่ทำลายลักษณะผิวตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ทดสอบ
2. ระบบ Variable Pressure Mode จะให้รายละเอียดที่ต่ำ กำลังขยายต่ำ โดยตัวอย่างต้องไม่มีความชื้น อาจไม่ต้องนำไฟฟ้าก็ได้ ไม่ต้องมีการเคลือบผิวตัวอย่างด้วยทองหรือคาร์บอน

ปริมาณตัวอย่างที่ต้องเตรียมเพื่อทำการวิเคราะห์ หากเป็นแบบผงใช้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น หากเป็นของแข็งควรเตรียมอย่างน้อย 2 ชิ้น เพื่อป้องกันความผิดพลาดกรณีตัวอย่างเสียหาย โดยมีขนาดไม่เกิน 3 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งถ้ามีขนาดเล็กจะดีกว่าเนื่องจากตัวอย่างจะสามารถถ่ายเทอิเล็กตรอนลงกราวด์ได้ดีกว่า จะช่วยป้องกันการ charging effects

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นภฉัตร และคณะ (2543) ศึกษาผิวเคลือบวัสดุผสมนิกเกิล-อลูมินา เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านทานการสึกหรอของผิวเคลือบเพราะนิกเกิลมีสมบัติความเหนียว มีความต้านทานการกัดกร่อนดี สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ ส่วนอลูมินาเป็นอนุภาคที่มีความแข็งแรง และมีราคาถูกกว่าอนุภาคอื่นๆ ถึงแม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสริมแรงชนิดอื่นๆ เช่น ทั้งสแตนคาร์ไบต์ ซิลิกอนคาร์ไบต์ ผงเพชร ฯลฯ ดังนั้น ผิวเคลือบวัสดุผสม นิกเกิล-อลูมินาจึงมีความเหมาะสมที่จะทำการศึกษาและพัฒนาเพื่อนำไปใช้งานในทางอุตสาหกรรมจาก งานวิจัยนี้พบว่าความต้านทานการสึกหรอของผิวเคลือบนิกเกิล-อลูมินา ดีกว่าผิวเคลือบนิกเกิล บริสุทธิ์และแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณ และการกระจายตัวของอลูมินาในผิวเคลือบ และการผสมอลู-มินาลงในสารละลายปริมาณสูงเกินไปจะทำให้ปริมาณผงอลูมินาในผิวเคลือบวัสดุผสมลดลง เนื่องมาจากการชนกันของอนุภาคทำให้ความต้านทานการสึกหรอมีค่าลดต่ำลงมา ยิ่งกว่านั้นเมื่อ ความเข้มข้นของอนุภาคอลูมินาในสารละลายสูงมากขึ้น ผิวเคลือบนิกเกิล-อลูมินาที่ได้จะมีความ หยาบสูงขึ้น เนื่องจากอลูมินาเป็นฉนวนและกั้นการไหลของกระแสทำให้บริเวณข้างเคียงมีความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงมากขึ้น

นิรภัณฑร์ และคณะ (2003) ได้เคลือบฟิล์มบางทองแดงบนกระจกสไลด์ด้วยระบบอัลบาลานซ์ แมกนีตรอนสปัตเตอริง (unbalance magnetron sputtering) พบว่าฟิล์มทองแดงที่ได้มีลักษณะ เนียนเรียบมันวาวสะท้อนแสงได้ดี โดยความหนาของฟิล์มอยู่ในช่วง 0.2 - 0.7 nm และมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า

รมย์ชลี และคณะ (2557) งานวิจัยนี้พัฒนาการชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าด้วยวิธีใหม่โดยใช้ สารละลายทองแดงกระจกสไลด์ที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยการขัดกระดาษทรายเบอร์ 400 และ กระตุ้นพื้นผิวชิ้นงานให้มีลักษณะเป็นสื่อไฟฟ้ารวมเป็นหนึ่งชั้นตอนเดียวโดยใช้อนุภาคนาโนของเงิน แทนการกระตุ้นผิวที่ใช้โดยทั่วไปที่มีการกระตุ้นผิวสองชั้นตอนโดยใช้ ทิน(II)คลอไรด์ และพลาสมาเตียม (II)คลอไรด์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ผิวชั้นเคลือบด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตร มิเตอร์เพื่อหาองค์ประกอบของธาตุ และวิเคราะห์ผลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อคู่สัมพันธ์กับความหนาของชั้นเคลือบที่เกิดขึ้น พบว่าอนุภาคนาโนของเงินสามารถทำให้ พื้นผิวกระจกสไลด์มีลักษณะเป็นสื่อไฟฟ้าได้จริง และเมื่อผ่านการชุบโลหะทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า ด้วยสารละลายทองแดง พบว่ามีการพอกพูนของทองแดงเกิดขึ้นบนกระจกสไลด์และได้ชั้นทองแดงที่ มีความเรียบสูงมีการยึดระหว่างชั้นทองกับพื้นผิวของกระจกสไลด์ที่ตีบตันผลจากการสังเกตลักษณะ ทางกายภาพและผลจากการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของธาตุ

วิญญู และคณะ (2557) ศึกษาผลของทองแดงต่อโครงสร้างจุลภาคของผิวเคลือบดีบุกบน ผลิตภัณฑ์ไอซี และการประเมินอายุการใช้งานของน้ำยาชุบดีบุกแบบไม่ใช้ไฟฟ้าหลังการชุบไอซีอย่าง ต่อเนื่อง พบว่าปริมาณทองแดงที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผิวเคลือบดีบุกมีความหยาบมากขึ้น และได้ ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนไอซีที่ชุบกับปริมาณทองแดง เหล็ก และโครเมียมในน้ำยา ชุบหลังการใช้งานอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้ประเมินอายุการใช้งานของน้ำยาชุบ จากการศึกษาพบว่า สามารถใช้ความเข้มข้นของทองแดงตกค้างในน้ำยาชุบเป็นตัวบ่งชี้อายุการใช้งานของน้ำยาชุบได้โดย ความเข้มข้นของทองแดงไม่ควรเกิน 540 mg/l และจากผลการคำนวณพบว่าน้ำยาชุบ 1000

ลิตร สามารถใช้ชุบไอซีได้สูงสุด 32000 แผ่นและ 34000 แผ่น ขึ้นอยู่กับชนิดของลิตเฟรมที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุเมธา (2552) ศึกษาผลของเวลาในการแอนโนไดเซชัน และความเป็นกรด-ด่างของอิเล็กโทรไลต์ ต่อโครงสร้างระดับจุลภาคของพื้นผิวชั้นเคลือบแคลเซียม-ฟอสฟอรัสบนไทเทเนียมบริสุทธิ์ ด้วยกระบวนการไมโครอาร์คออกซิเดชัน วิเคราะห์ลักษณะสัญญาณ ความขรุขระ องค์ประกอบที่พื้นผิวด้วย SEM AFM และ XRD ตามลำดับ ศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนและการสึกกร่อนของชั้นเคลือบผิวด้วยวิธีการโพเทนซีโไดนามิกส์และเครื่องไมโครไตรโบลอจินิก ball-on-disc จากผลของ SEM แสดงชั้นเคลือบที่ได้เตรียมด้วยกระบวนการไมโครอาร์คออกซิเดชันมีลักษณะเป็นรูพรุน ลักษณะสัญญาณพื้นผิว ความขรุขระ และขนาดของรูพรุนขึ้นกับทั้งสองปัจจัย ดังนี้ เมื่อเวลาในการแอนโนไดเซชันและค่า pH มากขึ้น ความขรุขระของพื้นผิว ขนาดรูพรุนเฉลี่ย และจำนวนรูพรุนต่อพื้นที่ เพิ่มขึ้นด้วย สมบัติความเป็นขี้ผึ้งเคลือบทำการศึกษาศึกษาโดยการวัดมุมสัมผัสทั้งสองของน้ำที่หยดบนพื้นผิวชั้นเคลือบ พบว่าชั้นเคลือบแคลเซียม-ฟอสฟอรัสบนพื้นผิวไทเทเนียมเป็นพื้นผิวแบบมีขี้ผึ้ง จากการศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนของชั้นเคลือบใน Lactated Ringer's solution พบว่าไทเทเนียมมีความต้านทานการกัดกร่อนได้ดีขึ้น และจากการทดสอบการสึกกร่อน พบว่า ไทเทเนียมที่ผ่านการเคลือบทนต่อการสึกกร่อนได้ดีกว่าไทเทเนียมที่ไม่ผ่านการเคลือบ



## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการชุบพลาสติกเอปียีสด้วยโลหะนิกเกิลและทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าลงบนพลาสติกเอปียีส ซึ่งพลาสติกเอปียีสที่นำมาชุบนั้นได้รับมาจาก บริษัท ไทยสตีลเคเบิล จำกัด (มหาชน) ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ 3D Printing โดยจะทำการวิเคราะห์ ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มที่ได้ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope และสภาพการยึดติดด้วยวิธี Cross Cut Test โดยมีวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินงานวิจัย ดังนี้

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ

##### 3.1.1 สารเคมีที่ใช้สำหรับเตรียมผิวพลาสติกเอปียีส

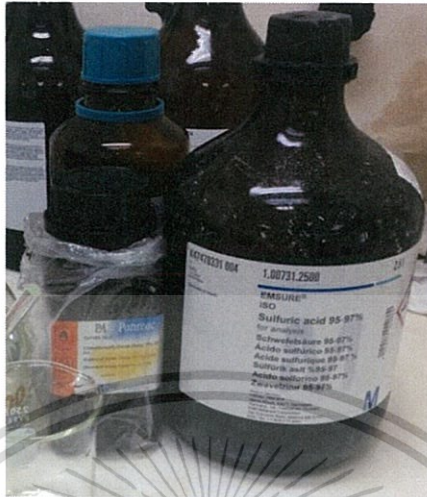


รูปที่ 3.1 อะซิโตน

1.  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$  (Acetone)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

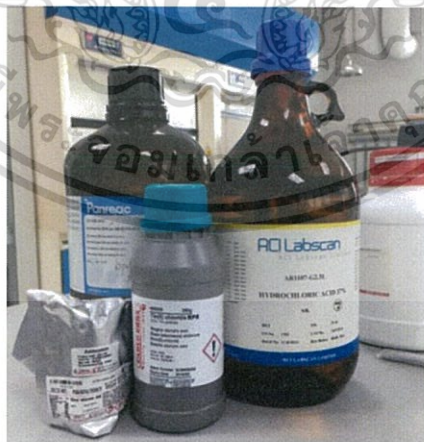
### 3.1.2 สารเคมีที่ใช้สำหรับ Etching ผิวพลาสติกเอปียีส



รูปที่ 3.2 สารเคมีสำหรับ Etching

1.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (Sulfuric acid)
2.  $\text{CrO}_3$  (Chromium trioxide)
3.  $\text{HCl}$  (Hydrochloric)

### 3.1.3 สารเคมีสำหรับกระตุ้นผิวพลาสติกเอปียีส



รูปที่ 3.3 สารเคมีสำหรับกระตุ้นผิว

1.  $\text{SnCl}_2$  (Tin Chloride)
2.  $\text{AgNO}_3$  (Silver Nitrate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. HCl (Hydrochloric)
4. NH<sub>3</sub> (Ammonia)

### 3.1.4 สารเคมีสำหรับชุบเคลือบผิวพลาสติกเอปียีสด้วยโลหะทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า



รูปที่ 3.4 สารเคมีสำหรับชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า

1. CuSO<sub>4</sub> (Copper Sulphate)
2. KNaC<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>6</sub>·H<sub>2</sub>O (Potassium Sodium Tartate)
3. CH<sub>2</sub>O (Formaldehyde)
4. NaOH (Sodium Hydroxide)

### 3.1.5 สารเคมีสำหรับชุบเคลือบผิวพลาสติกเอปียีสด้วยโลหะนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า



รูปที่ 3.5 น้ำยาชุบนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า

1. ENOVA AM 100
2. ENOVA EF 509 B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ สำหรับการชุบและการวิเคราะห์ชั้นฟิล์ม

#### 3.2.1 อุปกรณ์การชุบเคลือบผิวพลาสติกเอบีเอส

1. ชิ้นงานหรือผิวรองรับที่ใช้เป็น Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)



รูปที่ 3.6 พลาสติกเอบีเอส

2. ถังชุบเคลือบในงานวิจัยนี้ใช้บีกเกอร์ขนาด 250 ml ใส่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath)



รูปที่ 3.7 water bath

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เครื่องแก้ว ได้แก่ ปีกเกอร์ และแท่งแก้วคนสาร



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.8 (ก) แท่งแก้วคนสาร (ข) ปีกเกอร์

4. ตะขอและลวดที่ใช้สำหรับจับยึดชิ้นงานในขณะที่ทำการชุบ



(ก)

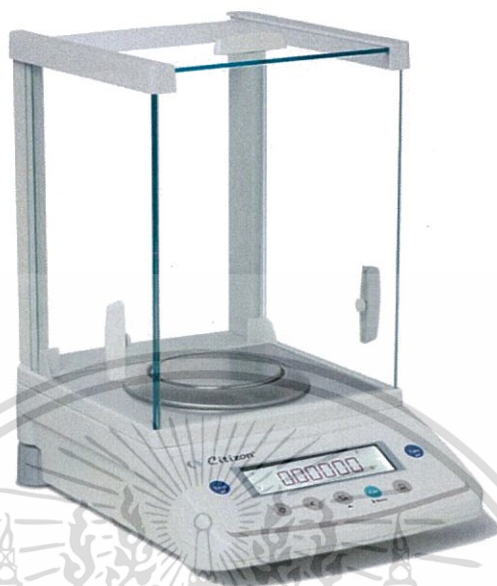


(ข)

รูปที่ 3.9 (ก) ลวดสำหรับจับชิ้นงาน (ข) ตะขอสำหรับยึดชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. เครื่องชั่งสารเคมี (Balance)



รูปที่ 3.10 เครื่องชั่งสารเคมี

### 3.2.2 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ชั้นฟิล์ม

1. กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy หรือ SEM)



รูปที่ 3.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด<sup>[1]</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ชุดทดสอบสภาพการยึดติดแบบ Cross Cut Test



รูปที่ 3.12 ชุดทดสอบสภาพการยึดติด Cross Cut Test<sup>[7]</sup>

### 3.3 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

#### 3.3.1 การเตรียมชิ้นงาน

1. ชิ้นงานต้นแบบได้มาจาก บริษัท ไทยสตีลเคเบิล จำกัด (มหาชน) โดยขึ้นรูปด้วยกระบวนการ 3D printing



รูปที่ 3.13 ชิ้นงานต้นแบบสำหรับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการเจาะชิ้นงานโดยใช้ดอกสว่านขนาด M2 ให้เป็นรูเพื่อยึดกับตะขอ



รูปที่ 3.14 การเจาะพลาสติกเอปียีส

3. ใส่ตะขอเข้ากับชิ้นงาน



รูป 3.15 การประกอบชิ้นงานเข้ากับตะขอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 การเตรียมผิวพลาสติกเอปียเอส

1. ต้มอะซิโตนเพื่อใช้ในการกัดผิวพลาสติกเอปียเอสให้เรียบ โดยแขวนชิ้นงานไว้ด้านบนเป็นเวลา 30 วินาที



รูปที่ 3.16 การเตรียมผิวพลาสติกเอปียเอสด้วยอะซิโตน

2. ทิ้งไว้ให้พลาสติกเซตตัว 1 วัน



รูปที่ 3.17 ลักษณะพื้นผิวพลาสติกเอปียเอสหลังจากกัดด้วยอะซิโตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3. การล้างทำความสะอาดพลาสติกเอปียีส

1. ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยน้ำยาล้างจาน
2. ชะล้างชิ้นงานด้วยน้ำ DI water

### 3.3.4 การ Etching

1. จุ่มชิ้นงานในสารละลายสำหรับ Etching ซึ่งมีอัตราส่วนคือ  $H_2O : H_2SO_4 : CrO_3$  เป็น 10:1:2 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที อุปกรณ์ให้ความร้อนกับสารละลายในงานวิจัยนี้ คือ water bath
2. ล้างด้วย HCl 30%

### 3.3.5 การกระตุ้นผิว (Activation Process)

1. จุ่มชิ้นงานในสารละลาย Tin Chloride 20g/L ผสมกับ HCl 15m/L เป็นเวลา 3 นาที
2. ชะล้างด้วย DI Water
3. จุ่มชิ้นงานในสารละลาย Silver Nitrate 20m/L ผสมกับ  $NH_3$  5m/L เป็นเวลา 10 นาที
4. ชะล้างด้วย DI Water

### 3.3.6 การชุบโลหะทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า (Cu Electroless Plating)

1. ชุบเคลือบผิวพลาสติกเอปียีสเป็นเวลา 5 นาที โดยมีเงื่อนไขดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงเงื่อนไขสำหรับการชุบ Cu

สารเคมี	ความเข้มข้น (g/L)
Copper Sulphate	8
Sodium Potassium Tartrate	35
Formaldehyde	40
Sodium Hydroxide	10

2. ชะล้างชิ้นงานด้วย DI Water

### 3.3.7 การชุบโลหะนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า (Ni Electroless Plating)

1. จุ่มชิ้นงานในสารละลาย ENOVA AM 100 ความเข้มข้น 60m/L ผสมกับ ENOVA EF 509 B ความเข้มข้น 150m/L ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20, 30, และ 40 นาที ตามลำดับ
2. ล้างชิ้นงานด้วย DI Water และเป่าให้แห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติของชั้นฟิล์ม

ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของชั้นฟิล์มที่ได้จะทำการวิเคราะห์ สภาพการยึดติด และลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม โดยมีวิธีการและขั้นตอนดังต่อไปนี้

#### 3.4.1 การทดสอบสภาพการยึดติด

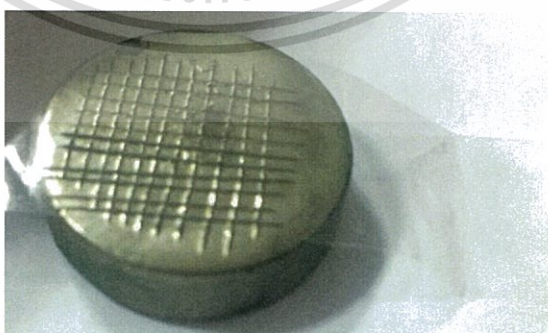
ในงานวิจัยนี้ใช้วิธี Cross-cut test เป็นวิธีทดสอบสภาพการยึดติดของผิวเคลือบ โดยใช้เครื่องมือในการตัดรูปแบบฟัน ขูดเป็นตารางบนผิวเคลือบโดยกรีดให้ลึกถึงวัสดุรองรับ (ABS) มีวิธีการดังนี้

1. ใช้คัตเตอร์กรีดฟิล์มให้เป็นตาราง



รูปที่ 3.18 ลักษณะผิวชิ้นงานหลังจากทำการกรีดด้วยคัตเตอร์

2. นำเทปกาวมาตรฐานติดลงบนรอยกรีดให้ครอบคลุมรอยกรีดทุกร่องแล้วรีดเทปกาวให้สนิทบนผิวเคลือบ



รูปที่ 3.19 ลักษณะของการติดเทปมาตรฐานบนรอยกรีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการดึงเทปออกจากผิวเคลือบด้วยความเร็วสม่ำเสมอ โดยมีองศาการดึงอยู่ที่ 180 องศา
4. นำชิ้นงานไปเทียบกับ ตารางที่ 2.3 Adhesion scale ของมาตรฐาน ASTM D3359 เพื่อระบุ Classification ของชิ้นงาน

#### 3.4.2 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว

สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของพลาสติกเอปียเอสที่ชุบด้วยนิกเกิลและทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าสามารถดูพื้นผิวของฟิล์มที่เคลือบบนพื้นผิวพลาสติกเอปียเอสได้โดยการใช้ Scanning Electron Microscope หรือ SEM ในการดูลักษณะพื้นผิวของฟิล์มที่ได้

โดยทำการตัดชิ้นงานให้มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัสที่มีพื้นที่หน้าตัดประมาณ  $0.5 \times 0.5$  ตารางเซนติเมตร ก่อนนำชิ้นงานไปดูลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด หรือ SEM โดยใช้กำลังขยาย  $\times 3000$  เท่า ที่ 10 กิโลโวลท์ สเกลบาร์ 2 ไมโครเมตร ถ่ายในโหมด High Vacuum ภาพแบบ SE หรือ Secondary Electron Mode



รูปที่ 3.20 ชิ้นงานที่ใช้วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวจากเครื่อง SEM

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการศึกษากระบวนการชุบโลหะนิกเกิลและทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าลงบนพลาสติกเอบีเอส ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาตัวแปร ระยะเวลาในการชุบโลหะนิกเกิล 3 เงื่อนไข โดยกำหนดความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่ ชุบด้วยสารละลายทองแดงเป็นเวลา 5 นาที แล้วโดยมีองค์ประกอบของน้ำยาชุบดังนี้ คอปเปอร์ซัลเฟตปริมาณความเข้มข้น 8 กรัมต่อลิตร โพแทสเซียมโซเดียมทาร์เทรต ปริมาณความเข้มข้น 35 กรัมต่อลิตร โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร และฟอร์มัลดีไฮด์ปริมาณความเข้มข้น 40 มิลลิลิตรต่อลิตร แล้วชุบด้วยสารละลายนิกเกิลที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20, 30 และ 40 นาที โดยมีองค์ประกอบของน้ำยาชุบดังนี้ ENOVA AM 100 ปริมาณความเข้มข้น 60 มิลลิลิตรต่อลิตร และ ENOVA EF 509 B ปริมาณความเข้มข้น 150 มิลลิลิตรต่อลิตรแล้วทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของชั้นฟิล์มที่ได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ 2 ส่วนได้แก่ สภาพการยึดติดด้วยวิธี Cross Cut Test และดูลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์สภาพการยึดติดด้วยวิธี Cross Cut Test

สำหรับพลาสติกเอบีเอสที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวโดยการกระตุ้นผิวด้วยอนุภาคนาโนของเงิน เรียบร้อยแล้ว จะนำพลาสติกเอบีเอสที่ได้เข้าสู่กระบวนการชุบโลหะทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าด้วยสารละลายทองแดงที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 5 นาที โดยมีองค์ประกอบของน้ำยาชุบดังนี้ คอปเปอร์ซัลเฟตปริมาณความเข้มข้น 8 กรัมต่อลิตร โพแทสเซียมโซเดียมทาร์เทรตปริมาณความเข้มข้น 35 กรัมต่อลิตร โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร และฟอร์มัลดีไฮด์ปริมาณความเข้มข้น 40 มิลลิลิตรต่อลิตร แล้วชุบด้วยสารละลายนิกเกิลที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20, 30 และ 40 นาที โดยมีองค์ประกอบของน้ำยาชุบดังนี้ ENOVA AM 100 ปริมาณความเข้มข้น 60 มิลลิลิตรต่อลิตร และ ENOVA EF 509 B ปริมาณความเข้มข้น 150 มิลลิลิตรต่อลิตร จะสังเกตเห็นได้ชัดเจนว่ามีโลหะทองแดงและนิกเกิลมาเคลือบที่ผิวของพลาสติกเอบีเอส ซึ่งกลไกที่ทำให้ทองแดงมาเกาะที่ผิวพลาสติกเอบีเอสเกิดขึ้นดังนี้

ในสภาวะดังกล่าวในน้ำยาชุบมีโลหะไอออนที่อยู่อย่างอิสระและปริมาณอิเล็กตรอนเหมาะสมส่งผลให้เกิดชั้นเคลือบทองแดงเกิดขึ้น โดยขั้นตอนการชุบโลหะทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า คือ การทำให้สารประกอบทองแดงในที่นี้ คือ คอปเปอร์ซัลเฟตทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์ในที่นี้ คือ ฟอร์มัลดีไฮด์

โดยก่อนหน้านั้นฟอร์มัลดีไฮด์จะต้องทำปฏิกิริยากับอนุภาคนาโนของเงินที่ติดอยู่บนพื้นผิวพลาสติกเอปียเอสก่อนเพื่อให้เกิดการแตกตัวของฟอร์มัลดีไฮด์ สมการ (30)



หลังจากนั้น  $\text{H}_2$  ที่แตกตัวออกมาจากฟอร์มัลดีไฮด์ จะมาทำปฏิกิริยากับ  $\text{Cu}^{1+}$  ที่แตกตัวออกมาจาก  $\text{CuCl}$  ทำให้เกิดปฏิกิริยา สมการ (31)



ซึ่งในขั้นตอนต่อไปพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาต่อไปจะเป็น  $\text{Cu}^0$  แทนที่  $\text{Ag}^0$  ซึ่งส่งผลให้เกิดการพอกพูนของทองแดงบนพลาสติกเอปียเอสนั่นเอง และเมื่อนำไปชุบนิกเกิลจะทำให้นิกเกิลสามารถยึดเกาะบนพื้นผิวทองแดงได้เลย ดังนั้นทุกบริเวณที่มีชั้นฟิล์มบางทองแดงก็จะมีชั้นฟิล์มนิกเกิลด้วย

เมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบสภาพการยึดติดโดยวิธี Cross Cut Test พบว่าเมื่อดึงเทปมาตรฐานออกชั้นฟิล์มไม่มีการหลุดลอกออกมาเลย เมื่อนำมาเทียบกับ Adhesion Scale ของมาตรฐาน ASTM D3359 ตามตารางที่ 2.3 พบว่า ชิ้นงาน A B และ C อยู่ใน Classification 5 เนื่องจากมี %Area removed เป็น 0% โดยแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.3 รูปที่ 4.6 และ รูปที่ 4.9

#### สภาวะที่ 1 ชิ้นงาน A

ชุบด้วยโลหะทองแดง 5 นาที และนิกเกิล 20 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สำหรับสารละลายนิกเกิล



รูปที่ 4.1 ชิ้นงาน A ชุบด้วยโลหะทองแดง 5 นาที



รูปที่ 4.2 ชิ้นงาน A ชุบด้วยโลหะนิกเกิล 20 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.3 พื้นผิวชิ้นงาน A หลังจากทดสอบ Cross Cut Test

#### สถานะที่ 2 ชิ้นงาน B

ชุบด้วยโลหะทองแดง 5 นาที และนิกเกิล 30 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สำหรับสารละลายนิกเกิล



รูปที่ 4.4 ชิ้นงาน B ชุบด้วยโลหะทองแดง 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ชิ้นงาน B ชุบด้วยโลหะนิกเกิล 30 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.6 พื้นผิวชิ้นงาน B หลังจากทดสอบ Cross Cut Test

### สถานะที่ 3 ชิ้นงาน C

ชุบด้วยโลหะทองแดง 5 นาที และนิกเกิล 40 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สำหรับสารละลายนิกเกิล



รูปที่ 4.7 ชิ้นงาน C ชุบด้วยโลหะทองแดง 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ชิ้นงาน C ชุบด้วยโลหะนิกเกิล 40 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.9 พื้นผิวชิ้นงาน C หลังจากทดสอบ Cross Cut Test

ดังนั้นที่ระยะเวลาการชุบนิกเกิลที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อสภาพการยึดติดระหว่างชั้นฟิล์มนิกเกิลกับทองแดง และทองแดงกับพื้นผิวของพลาสติกเอปียีเอส แต่สิ่งที่ส่งผลต่อสภาพการยึดติดคือความชื้นสังเกตจากชิ้นงาน A B และ C หลังจากการชุบชิ้นงาน ทำการขีดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 400 แล้วเก็บชิ้นงานใส่ถุงพลาสติกพบว่าชั้นฟิล์มบางส่วนหลุดลอกไปเนื่องจากที่ผิวของชิ้นงานมีความชื้น และชิ้นงาน A มีการหลุดลอกมากที่สุดเนื่องจากชั้นฟิล์มนั้นบางมากทำให้เมื่อโดนความชื้นแล้วเกิดเป็นสนิมและหลุดลอกไปได้ง่าย อย่างไรก็ตามถึงแม้ชิ้นงาน B และ C มีความหนาของชั้นฟิล์มมากกว่าชิ้นงาน A แต่ชั้นฟิล์มก็ยังมีบางส่วนหลุดลอกไป



รูปที่ 4.10 พื้นผิวชิ้นงาน A ที่มีความชื้นหลังจากผ่านไป 7 วัน



รูปที่ 4.11 พื้นผิวชิ้นงาน B ที่มีความชื้นหลังจากผ่านไป 7 วัน



รูปที่ 4.12 พื้นผิวชิ้นงาน C ที่มีความชื้นหลังจากผ่านไป 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ เพื่อการใช้งานภายในเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลระบบได้เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

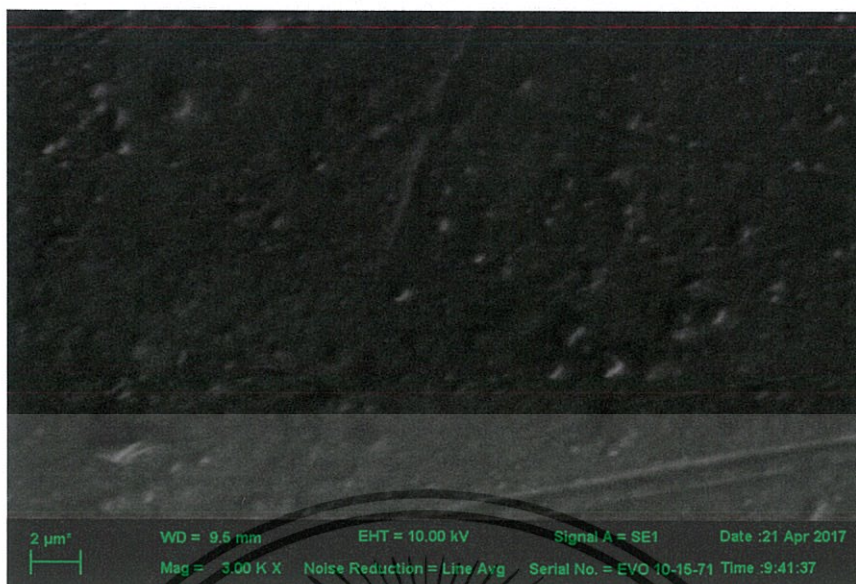
เมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด หรือ SEM กำลังขยาย  $\times 3000$  เท่า ที่ 10 กิโลโวลต์ สเตลบาร์ 2 ไมโครเมตร ถ่ายในโหมด High Vacuum ภาพแบบ SE หรือ Secondary Electron เมื่อตรวจสอบสัณฐานวิทยา พบว่า ความเรียบของผิวเคลือบจะแปรผกผันกับเวลาในการชุบ คือ เมื่อเวลาในการชุบนิกลเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเรียบของผิวเคลือบนิกลลดลง และอนุภาคของนิกลจะเกิดการเกาะกลุ่มกันบริเวณด้านบนของผิวเคลือบจึงทำให้เห็นผิวเคลือบเป็นเกรนโตขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบชิ้นงาน A B และ C พบว่า ชิ้นงาน A ที่ใช้เวลาในการชุบนิกลน้อยที่สุด คือ ใช้เวลาในการชุบ 20 นาที ผิวเคลือบจะมีความหยาบน้อยที่สุด แต่เมื่อเวลาในการชุบเพิ่มขึ้นอนุภาคนิกลจะเริ่มรวมกลุ่มกันแล้วเกิดเป็นเกรนโตขึ้น โดยสังเกตได้จาก รูปที่ 4.14 ภาพจาก SEM แสดงผิวเคลือบนิกลของชิ้นงาน B จะเห็นว่าผิวเคลือบเริ่มมีความหยาบมากขึ้นเมื่อเวลาในการชุบมากขึ้น และสุดท้ายชิ้นงาน C ที่ใช้เวลาในการชุบมากที่สุด คือ ทำการชุบนิกลเป็นเวลา 40 นาที พื้นผิวจะมีความหยาบมากที่สุด และอนุภาคของนิกลบางส่วนเกิดการรวมกลุ่มกันแล้วมาเกาะที่หน้าผิวเคลือบเกิดเป็นเกรนโตขึ้นมากขึ้น โดยสามารถสรุปได้ตามสภาวะการชุบ ดังนี้

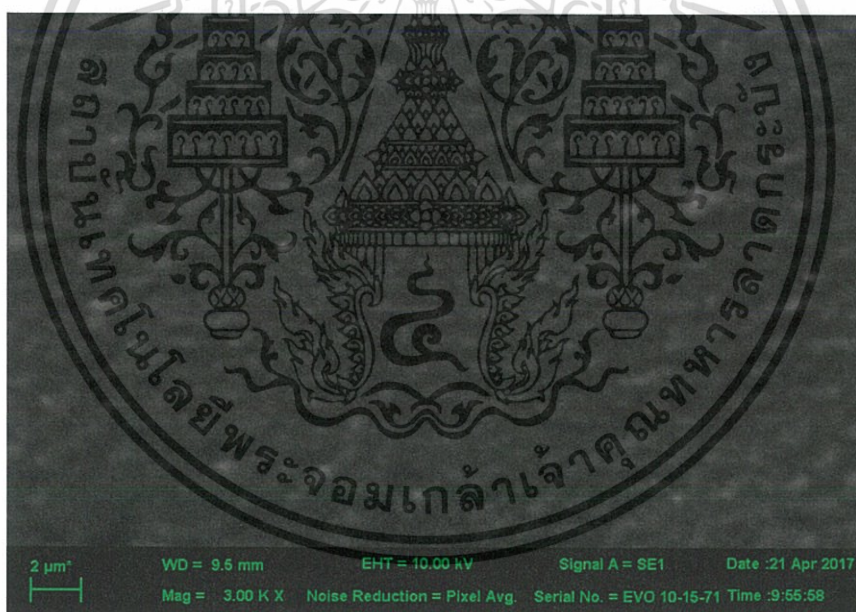
สภาวะการชุบที่ 1 ชิ้นงาน A ชุบด้วยโลหะทองแดง 5 นาที และนิกล 20 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สำหรับสารละลายนิกล อนุภาคนิกลมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ไม่มีการเกาะกลุ่มจึงไม่เห็นเป็นเกรนโตขึ้น และลักษณะพื้นผิวที่ได้มีความเรียบสูง

สภาวะการชุบที่ 2 ชิ้นงาน B ชุบด้วยโลหะทองแดง 5 นาที และนิกล 30 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สำหรับสารละลายนิกล เมื่อเวลาในการชุบนิกลเพิ่มขึ้นอนุภาคของนิกลเริ่มเกาะกลุ่มกันเกิดเป็นเกรนโตขึ้น ที่ผิวเคลือบ ความเรียบของผิวเคลือบลดลง อนุภาคมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเหมือนชิ้นงาน A

สภาวะการชุบที่ 3 ชิ้นงาน C ชุบด้วยโลหะทองแดง 5 นาที และนิกล 40 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สำหรับสารละลายนิกล ที่สภาวะนี้ชิ้นงานจะมีความเรียบน้อยที่สุด เนื่องจากเวลาในการชุบนิกลค่อนข้างนานทำให้มีการพอกพูนของอนุภาคนิกลมากขึ้น ทำให้เห็นเป็น เกรนโตขึ้นชัดเจน และอนุภาคยังคงมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 4.13 ภาพจาก SEM แสดงผิวเคลือบนิกเกิลของชิ้นงาน A



รูปที่ 4.14 ภาพจาก SEM แสดงผิวเคลือบนิกเกิลของชิ้นงาน B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ภาพจาก SEM แสดงผิวเคลือบนิกเกิลของชิ้นงาน C

อย่างไรก็ตามถึงแม้ผิวเคลือบจะมีความหยาบมากขึ้น และเกิดเกรนโตขึ้นแต่อนุภาคก็ยังคงมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอซึ่งเป็นคุณสมบัติเด่นของการชุบแบบไม่ใช้ไฟฟ้า

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการชุบโลหะนิกเกิลและทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าลงบนพลาสติกเอบีเอส โดยกระตุ้นผิวด้วยอนุภาคนาโนของเงิน พบว่า การกระตุ้นผิวโดยใช้อนุภาคนาโนของเงินสามารถทำให้พื้นผิวพลาสติกเอบีเอสมีลักษณะเป็นสื่อไฟฟ้าได้จริง และเมื่อผ่านการชุบด้วยสารละลายทองแดงที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 5 นาที โดยมีองค์ประกอบของน้ำยาชุบดังนี้ คอปเปอร์ซัลเฟตปริมาณความเข้มข้น 8 กรัมต่อลิตร โพแทสเซียมโซเดียมทาร์เทรตปริมาณความเข้มข้น 35 กรัมต่อลิตร โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร และฟอร์มัลดีไฮด์ปริมาณความเข้มข้น 40 มิลลิลิตรต่อลิตร จะมีการพอกพูนของทองแดงเกิดขึ้นบนพลาสติกเอบีเอส แล้วชุบด้วยสารละลายนิกเกิลที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20, 30 และ 40 นาที โดยมีองค์ประกอบของน้ำยาชุบดังนี้ ENOVA AM 100 ปริมาณความเข้มข้น 60 มิลลิลิตรต่อลิตร และ ENOVA EF 509 B ปริมาณความเข้มข้น 150 มิลลิลิตรต่อลิตร พบว่าอนุภาคของนิกเกิลจะไปเกาะที่พื้นผิวที่มีการพอกพูนของทองแดงเท่านั้น

จากผลการทดสอบสภาพการยึดติดสามารถสรุปได้ว่า ชั้นฟิล์มทองแดงที่เกิดขึ้นบนผิวพลาสติกเอบีเอส และชั้นฟิล์มนิกเกิลที่เกิดขึ้นบนชั้นฟิล์มทองแดง มีการยึดเกาะระหว่างกันที่ดี เนื่องจากชิ้นงาน A B และ C อยู่ใน Classification 5 มี %Area removed เป็น 0% ยืนยันผลจากการทดสอบ Cross Cut Test ตามมาตรฐาน ASTM D3359

และผลจากการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของชั้นฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า เวลาในการชุบแปรผกผันกับความเรียบของชั้นฟิล์มนิกเกิล คือ เมื่อเวลาที่ใช้ในการชุบนิกเกิลมากขึ้น อนุภาคของนิกเกิลจะมีการรวมกลุ่มกันเป็นก้อน และเมื่อการพอกพูนของอนุภาคนิกเกิลสูงขึ้น ผิวเคลือบจะมีลักษณะเป็นเกรนโตขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอนุภาคของนิกเกิลบนผิวเคลือบก็ยังคงมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอซึ่งเป็นคุณสมบัติเด่นของการชุบแบบไม่ใช้ไฟฟ้า

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เมื่อทำการชุบเสร็จแล้วก่อนเก็บชิ้นงานควรทำให้แห้งโดยใช้ลมเป่า เนื่องจากชั้นฟิล์มนิกเกิล และทองแดงที่เกิดขึ้นนั้นมีความบางมาก ดังนั้นถ้าหากชิ้นงานมีความชื้นอยู่ก็จะทำให้ชั้นฟิล์มเกิดเป็นสนิมและหลุดลอกไปได้ง่าย
2. สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการกัดผิว กระจกั้น หรือชุบ ล้วนเป็นสารเคมีที่อันตรายดังนั้นขณะปฏิบัติงานต้องสวมอุปกรณ์ป้องกัน ได้แก่ หน้ากาก และถุงมือ และต้องปฏิบัติงานด้วยความระมัดระวัง
3. ก่อนการนำสารเคมีมาใช้ควรศึกษาคุณสมบัติของสารเคมีแต่ละชนิด เพื่อการใช้งานที่ถูกต้อง เช่น ถ้าต้องการผสมกรดกับน้ำ ควรค่อยๆเติมกรดลงในน้ำ เนื่องจากถ้าใส่น้ำลงไปกรดกรดจะสร้างพันธะกับน้ำในทันที ดังนั้นจึงเกิดการคายความร้อนออกมาจนบางกรณีน้ำทำปฏิกิริยาไม่ทันทำให้น้ำด้านบนเกิดเดือดกระเด็นทำให้เกิดการระเบิดได้ ดังนั้นเราจึงต้องเทกรดลงในน้ำเพื่อเจือจางกรด จะได้ไม่เกิดปฏิกิริยาที่รุนแรง และเป็นอันตรายต่อผู้ที่ปฏิบัติงาน
4. เนื่องจากน้ำยาชุบทองแดงมีการเกิดปฏิกิริยาที่เร็ว ดังนั้นหากต้องการชุบชิ้นงานจำนวนมาก ควรตรวจสอบน้ำยาก่อนการชุบทุกครั้งเพื่อให้มั่นใจว่าน้ำยาชุบยังไม่มีกร Plate Out

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน. 2557. [Online]  
<http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewgroup/426>
- [2] คุณสมบัติพลาสติก ABS. 2556. [Online]  
<http://www.print3dd.com/คุณสมบัติพลาสติก-abs/>
- [3] นพฉัตร ธาริลาภ และคณะ. 2543. การชุบเคลือบผิววัสดุผสมนิกเกิล-อลูมินาด้วยไฟฟ้าเพื่อป้องกันการสึกหรอ. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 38, 315-323.
- [4] นิรันดร์ วิทิตอนันต์ (2546). การวัดความหนาฟิล์มบางทองแดงด้วยเทคนิคโพรบ 4 เซม. ในเอกสารการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29. 276-279. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [5] ไพบุลย์ แจ้งเสนาะ. 2535. พื้นฐานการชุบนิกเกิลโดยไม่ใช้ไฟฟ้า. วารสารชุบโลหะ 3(10), 31-39.
- [6] รมย์ชลี ธนฐากร, วัชรีย์ รัตนสกุลทอง, อภิรัตน์ เล่าห์บุตร และอภิชาติ โรจนโรวรรณ. 2557. การนำอนุภาคนาโนของเงินมาใช้ในการชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าบนพื้นผิวกระจกด้วยสารละลายทองแดง. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52, 249-256.
- [7] วิญญู จิตสัมพันธ์เวช, ภัณทิรา เกตุแก้ว และอารยา อูไรกุล. 2545. การประเมินอายุการใช้งานของน้ำยาชุบที่ใช้เคลือบผิวบนผลิตภัณฑ์ไอซีด้วยดีบุก. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52, 315-323.
- [8] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. วิธีทดสอบสี วาร์นิช และวัสดุที่เกี่ยวข้อง. กรุงเทพฯ: 2549.
- [9] สุชาติ สุวรรณทัศน์ และคณะ. 2558. การพัฒนาเครื่องเคลือบฟิล์มบางต้นทุนต่ำ และการวิเคราะห์ฟิล์มบางทองแดง. เอกสารการประชุมวิชาการและนำเสนอ ผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 6, 535-543.
- [10] สุขเมธา สุวรรณบุรณ์. 2552. อิทธิพลของโลหะเจือและกระบวนการทางความร้อนของผิวเคลือบโลหะผสมนิกเกิล-ฟอสฟอรัสจากการชุบเคลือบผิวแบบไม่ใช้ไฟฟ้าต่อความต้านทานการกัดกร่อน, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] A. Brenner and G. Riddell, J. Res. Nat. Bur. Std., 37, 31 (1946).
- [12] Amelio, J.W., G.K. Lemon, V. Markovich, T. Panasik, C.J. Sambucetti and D.J. Trevitt. 1984. Method For Selective Electroless Plating of Copper onto A Non-Conductive Substrate Surface. United States Patent 4448804.
- [13] Cui, X., D.A. Hutt. and P.P. Conway. 2008. An Investigation of Electroless Copper Films Deposited on Glass, pp. 105-110. In Proceedings of the 2nd IEEE Electronics System integration Technology Conference. September. London.
- [14] Gawrilove, G.G. 1979. Chemical (Electroless) Nickel Plating. Protcollis Press Ltd., New-Jersey.
- [15] Hanna, F., Z.A. Hamid and A.A. Aal. 2003. Controlling Factors Affecting the Stability and Rate of Electroless Copper Plating. Materials Letters. 58 (1-2): 104-109.
- [16] Inventor-3d. 2556. [Online]  
<http://www.inventor-3d.com/3d-printer-introduction/>
- [17] Lin, M.Y. and C.H. Yen. 2001. Effects of Additives and Chelating Agents on Electroless Copper Plating. Applied Surface Science 178 (1-4): 116-126.
- [18] Mishra<sup>1</sup>, G.K. and K.G. Paramguru. 2010. Surface modification with copper by Electroless deposition technique: An overview. Pure and Applied Chemistry 4(6): 87-99.
- [19] MITHUN V KULKARNI and HEMACHANDRA REDDY K. 2012. “DEVELOPMENT OF ELECTROPLATING SETUP FOR PLATING ABS PLASTICS.” i-manager’s Journal on Mechanical Engineering. 2012(3) : 52-57.
- [20] Pimpan DECHASIT<sup>1</sup> and Wimonrat TRAKARNPRUK. 2011. Ni Electroless Plating of ABS Polymer by Palladium and Tin-free Process. Chemistry Faculty of Science Chulalongkorn University): 19-27.
- [21] Su, W., L. Yao, F. Yang, P. Li, J. Chen and L. Liang. 2011. Electroless plating of copper on surface-modified glass substrate. Applied Surface Science 257 (18): 8067-8071.
- [22] Wolfgang, R. 1991. Electroless Nickel Plating. Finishing Publication Ltd. Ohio.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายชูศักดิ์ เชาวโรจน์  
วัน เดือน ปีเกิด 25 สิงหาคม พ.ศ. 2537  
ที่อยู่ 41/2 ม.4 ต.บ่อเวฬุ อ.ขลุง จ.จันทบุรี 22150  
E-mail: poppacwr@gmail.com  
Tel: 0861682801

## ประวัติการศึกษา

2550-2553 ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนชลราษฎรอำรุง  
2553-2556 ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนชลราษฎรอำรุง  
2556-ปัจจุบัน กำลังศึกษาหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวมาลินี ประสงค์  
วัน เดือน ปีเกิด 25 สิงหาคม พ.ศ. 2537  
ที่อยู่ 114 หมู่บ้านศิรินเทพ ซอย รามคำแหง106 ถนน รามคำแหง เขต/แขวง  
สะพานสูง กรุงเทพมหานคร 10240  
E-mail: malinee.prasong@gmail.com  
Tel: 0972798832

## ประวัติการศึกษา

2550-2553 ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ เตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า  
2553-2556 ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ เตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า  
2556-ปัจจุบัน กำลังศึกษาหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้